

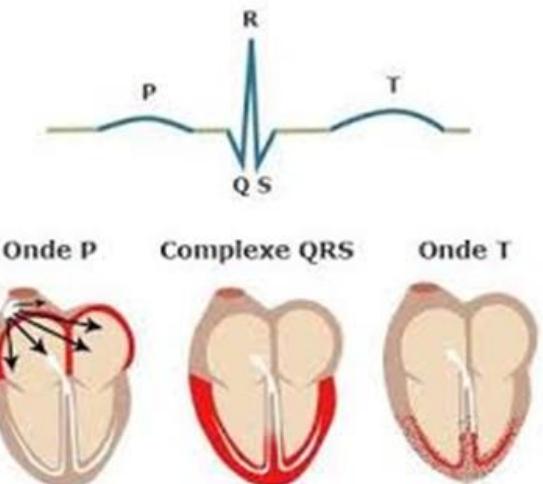


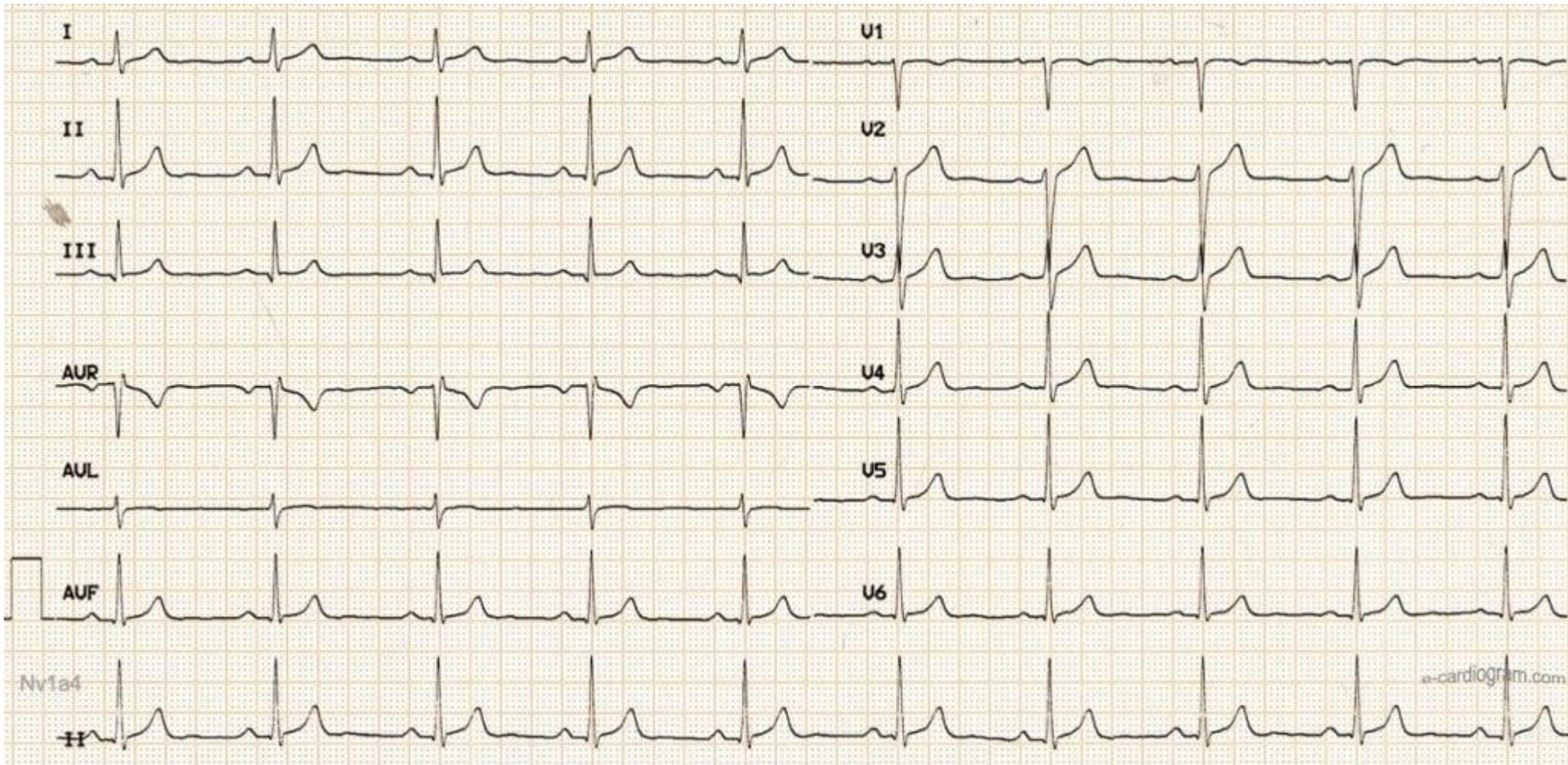
ÉLECTROGENÈSE CARDIAQUE ET BASES DE L'ECG

UEF 106

Pr Kaouther Masmoudi

2025- 2026

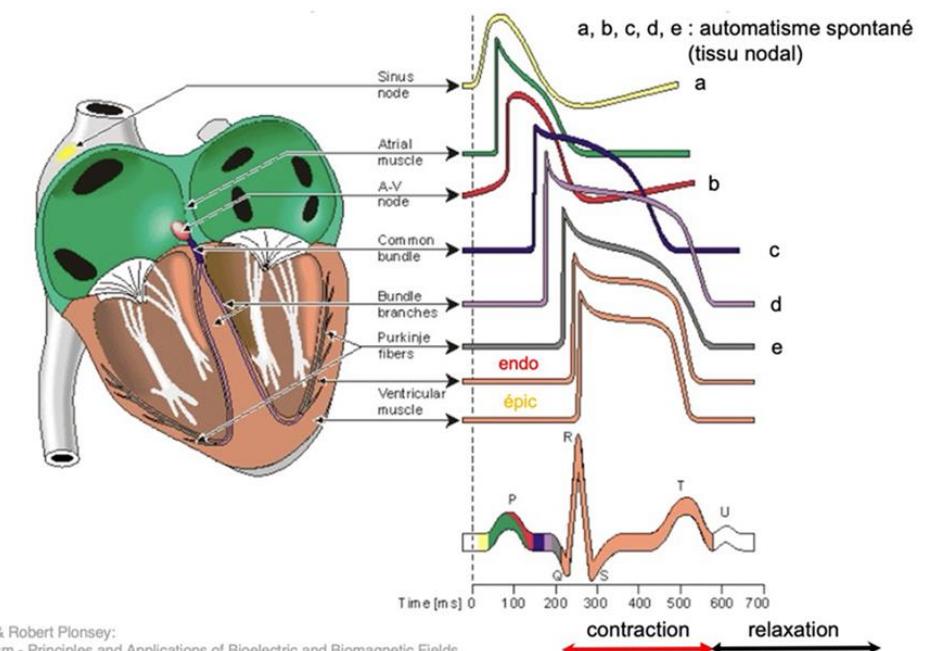




ECG normal pour un patient masculin de 35 ans

Activité électrique cardiaque:

- Cellules myocardiques :
 - Successions dépolarisations – Repolarisations
- Cœur entier :
 - Somme de toutes les activités cellulaires



Jaakko Malmivuo & Robert Plonsey:
Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields,
Oxford University Press, New York, 1995.

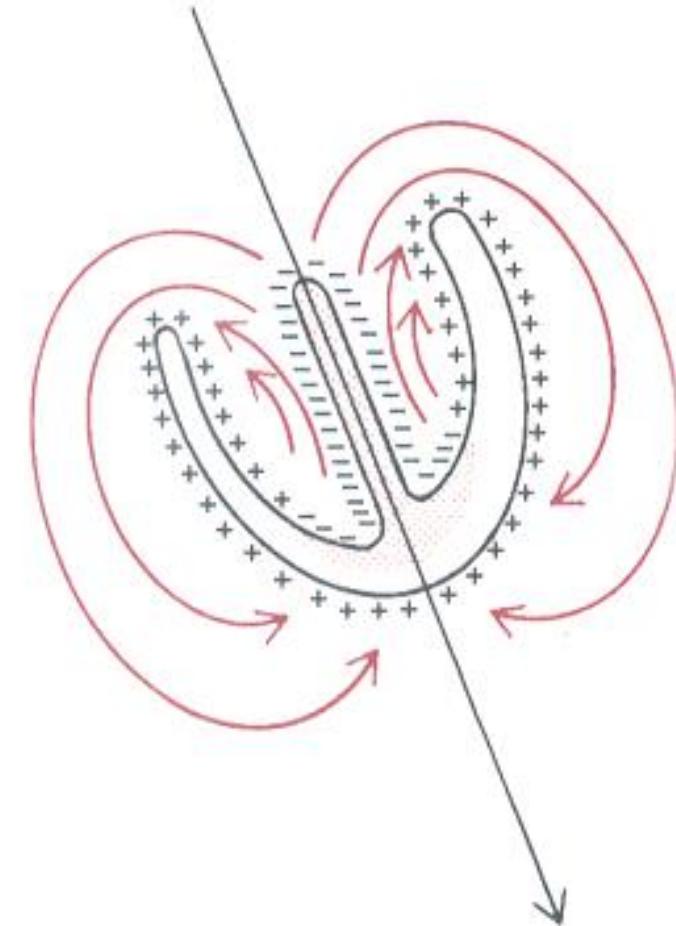
DEUX HYPOTHÈSES FONDAMENTALES

- Hypothèse de base : le dipôle cardiaque
- Hypothèse complémentaire: homogénéité de la conduction

Hypothèse de base: le dipôle cardiaque

A tout instant :

- l'activité électrique globale : somme des activités électriques élémentaires de chaque cellule.
- Activité électrique élémentaire → vecteur électrique :
 - amplitude
 - direction dans l'espace.
- Activité électrique globale : somme (vectorielle) de tous ces vecteurs élémentaires → un seul vecteur résultant:
 - amplitude
 - Direction dans l'espace

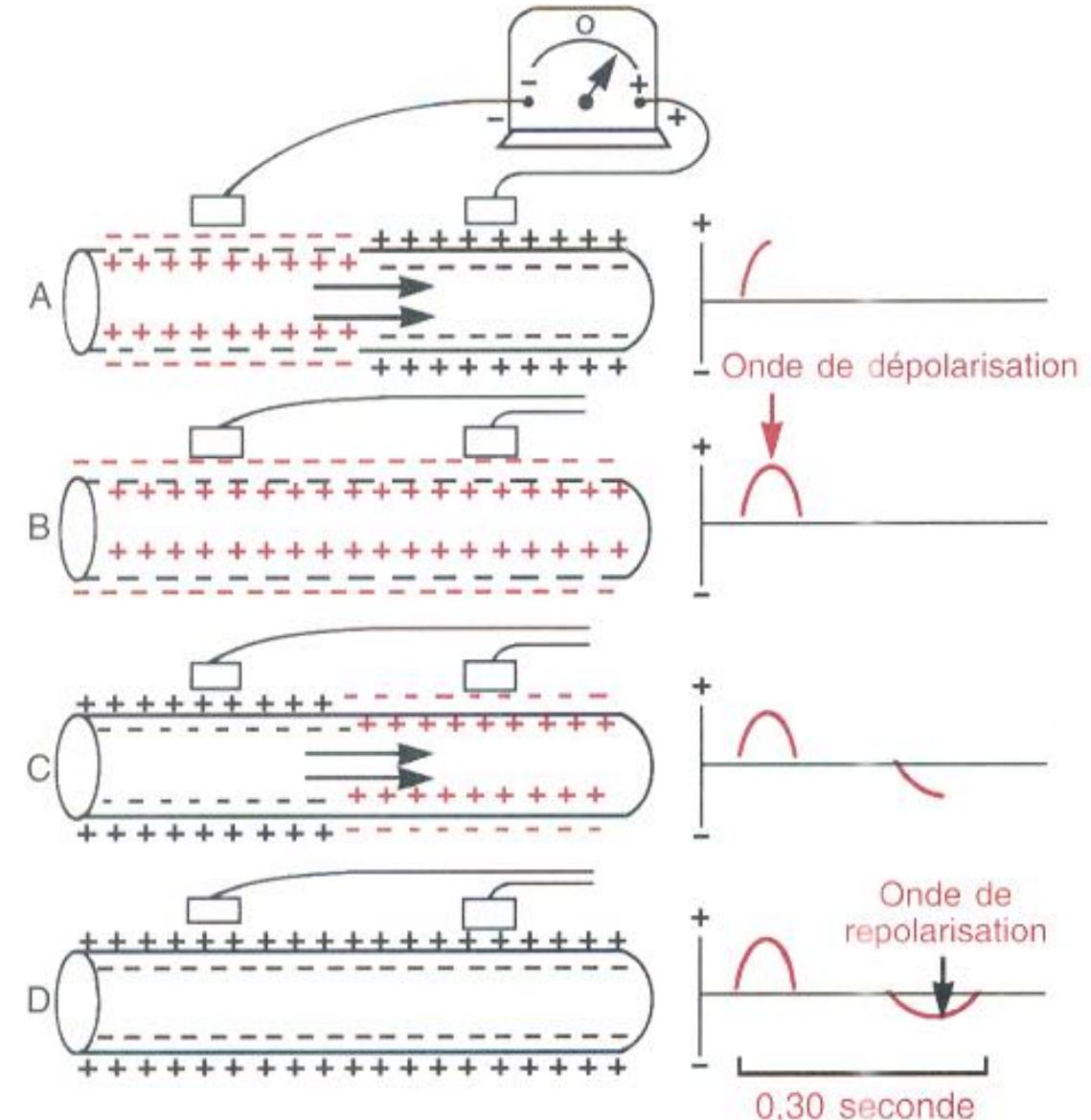


Vecteur moyen de ORS au sein d'un myocarde partiellement dépolarisé.

La théorie du dipôle

assimile ainsi le cœur à une structure géométrique :

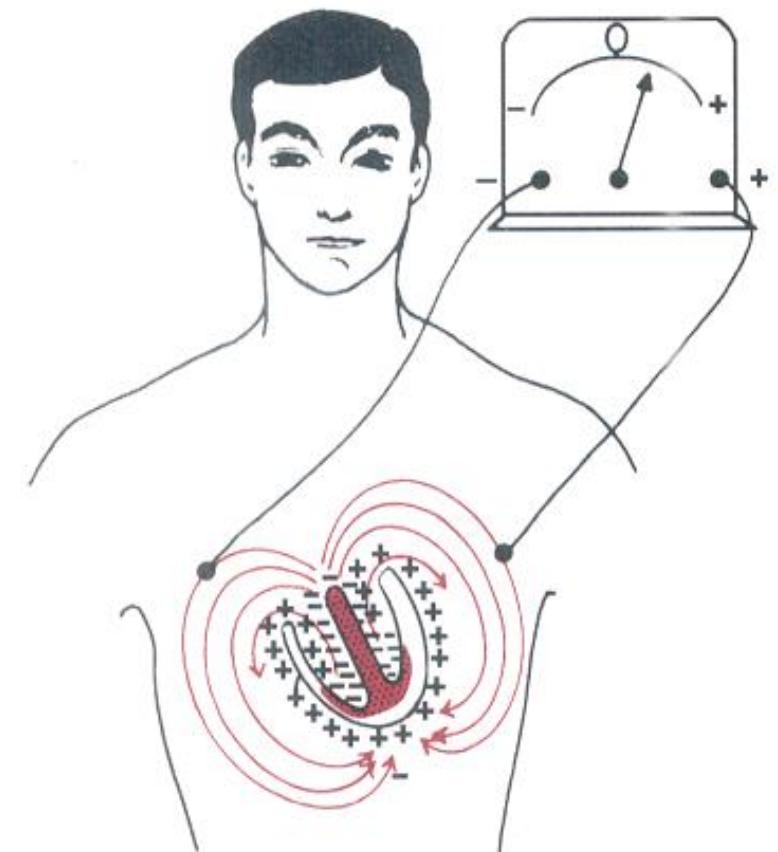
- simple, allongée,
 - chargé électriquement :
 - de manière homogène au repos,
 - de manière asymétrique durant l'activité
- ddp entre les deux extrémités : dipôle



Enregistrement de l'onde de dépolarisation et de l'onde de repolarisation d'une fibre musculaire cardiaque isolée.

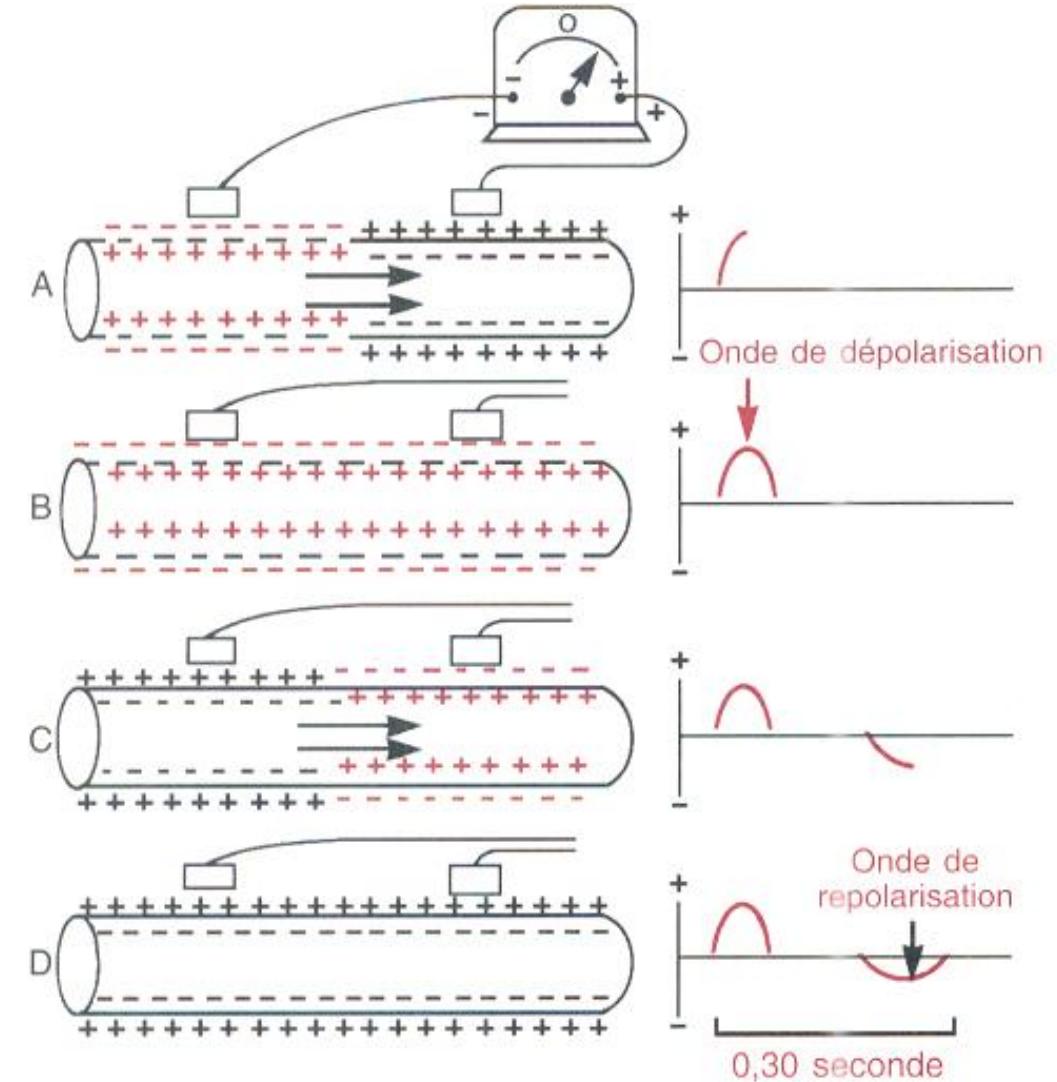
Hypothèse complémentaire: homogénéité de la conduction

- Les ddp que crée l'activité électrique du myocarde : peuvent être mesurées au contact même de sa paroi,
 - soit expérimentalement,
 - soit lors d'intervention chirurgicale à thorax ouvert:
 - c'est l'électrocardiographie de contact.
- ECG : s'enregistre au niveau de la peau : champ électrique :
 - produit par l'activité myocardique
 - se transmet à la surface cutanée par l'intermédiaire des tissus qui s'interposent entre elle et le cœur.
- hypothèse complémentaire:
 - le corps entier : conducteur homogène, permettant au champ électrique de se transmettre de la même façon dans toutes les directions.

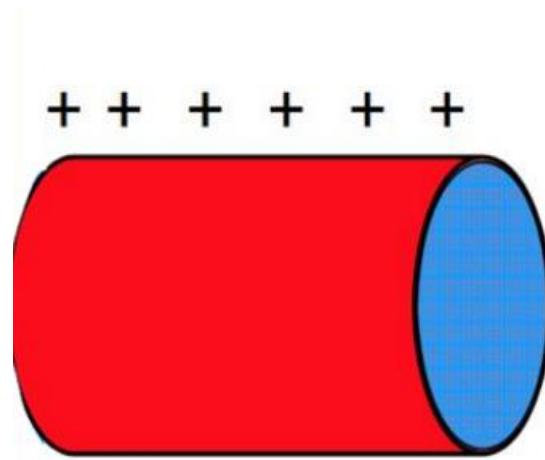


LE DIPÔLE

- Conditions au repos électrique
- Dépolarisation
- Repolarisation

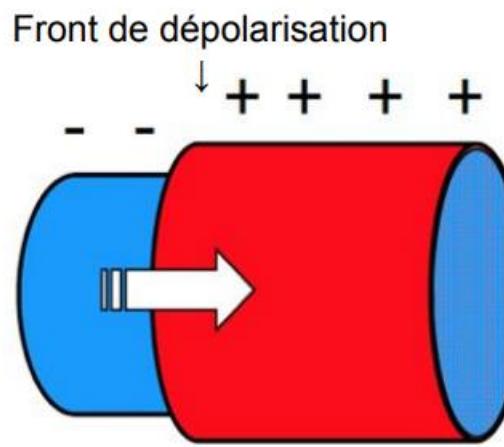


Enregistrement de l'onde de dépolarisation et de l'onde de repolarisation d'une fibre musculaire cardiaque isolée.



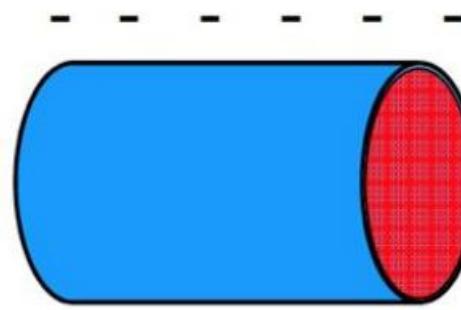
cellule au repos

Pas de variation locale
du champ électrique



début de la dépolarisation

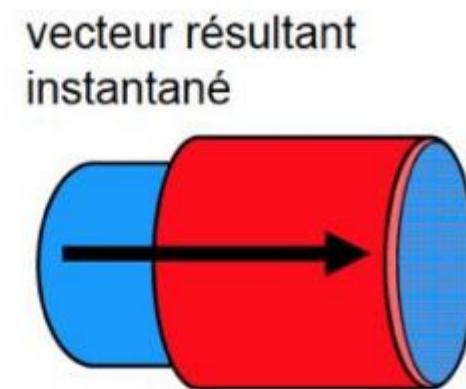
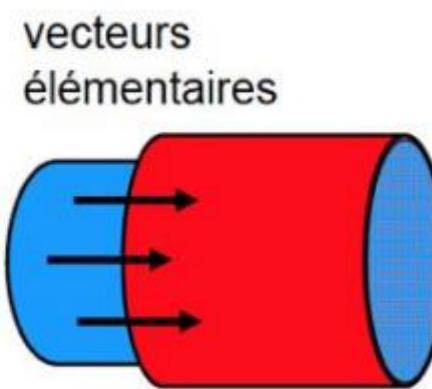
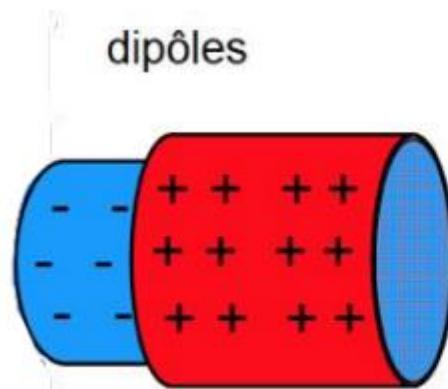
Variation locale champ
électrique (dipôle électrique)



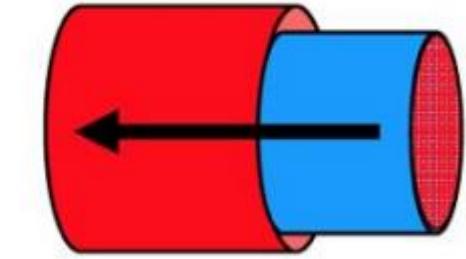
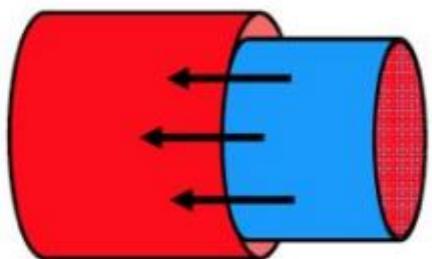
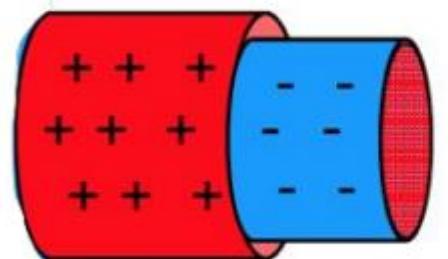
dépolarisation

Pas de variation locale
du champ électrique

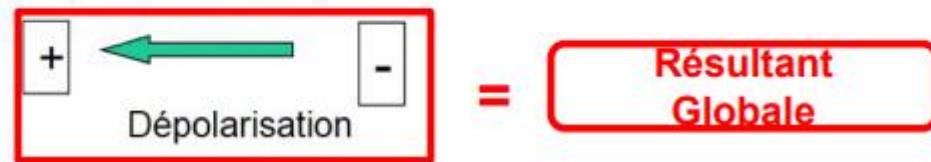
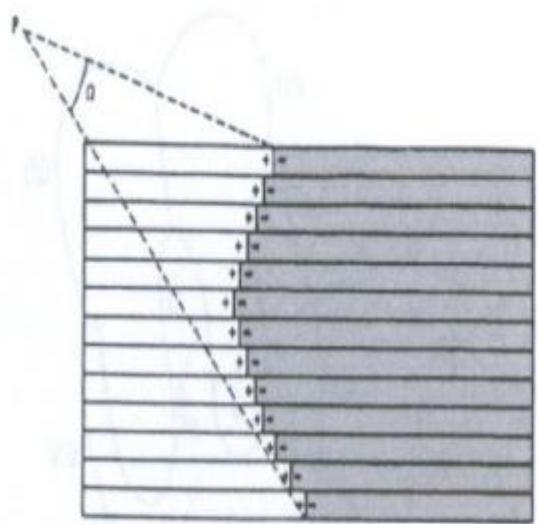




→ sens de la dépolarisation (le courant ionique est de même sens)

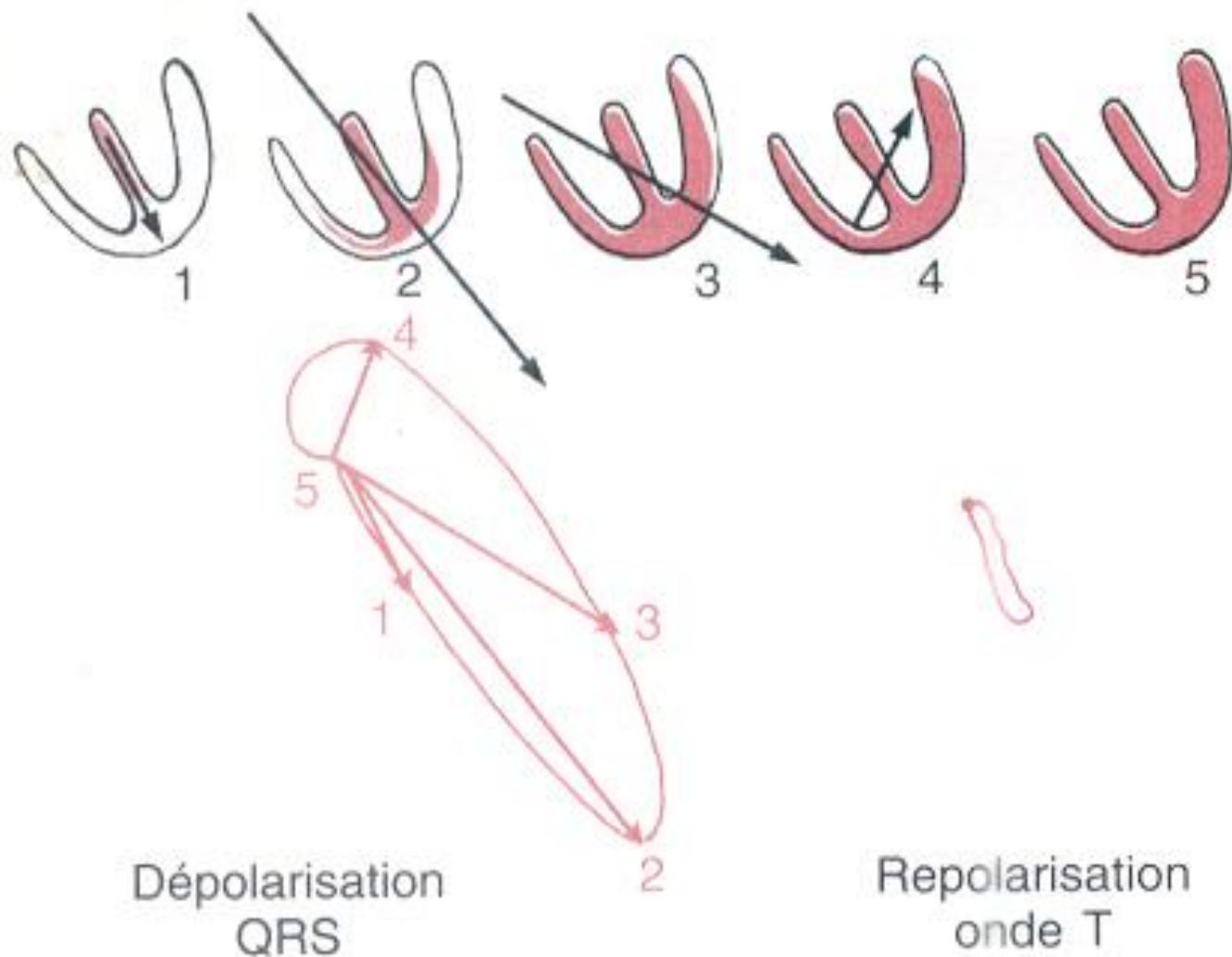


→ sens de la repolarisation (le courant ionique est de sens contraire)

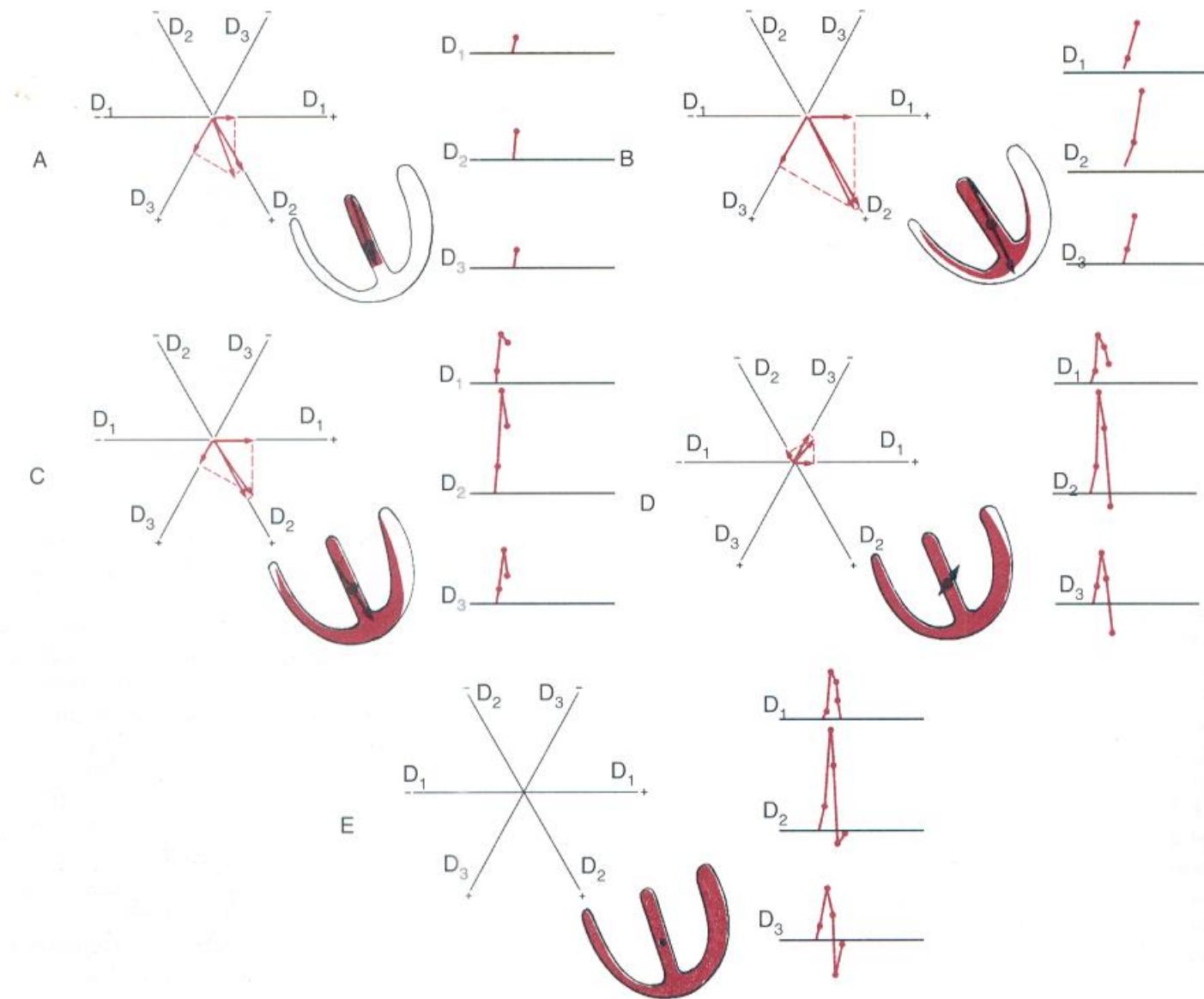


Un ensemble de fibres se dépolarisant en même temps est assimilable à un **dipôle unique** orienté de la zone dépolarisée vers la zone de repos.



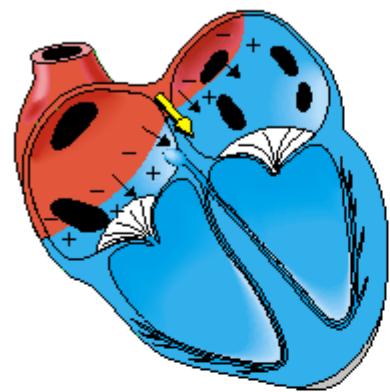


Les vectocardiogrammes du complexe QRS et de l'onde T.

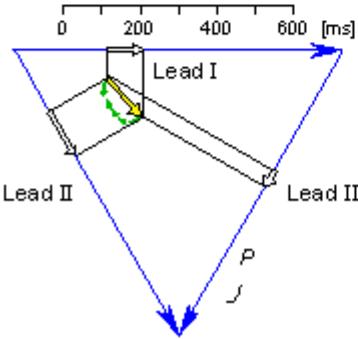


A, les vecteurs ventriculaires et les complexes QRS 0,01 seconde, *B*, 0,02 seconde, *C*, 0,035 seconde, *D*, 0,05 seconde après le début de la dépolarisation ventriculaire. *E*, correspond à la dépolarisation ventriculaire complète 0,06 seconde après sa naissance.

ATRIAL
DEPOLARIZATION
80 ms



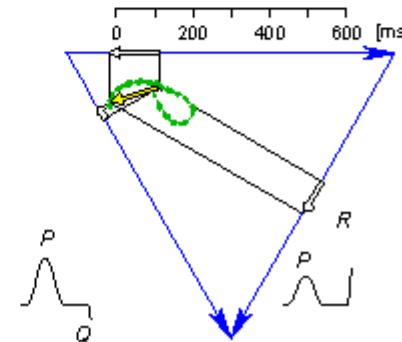
P



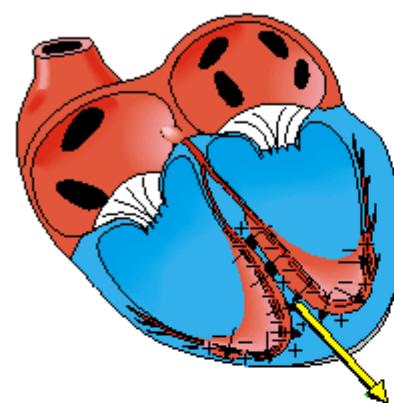
SEPTAL
DEPOLARIZATION
220 ms



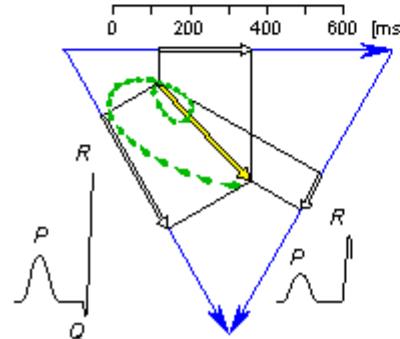
P



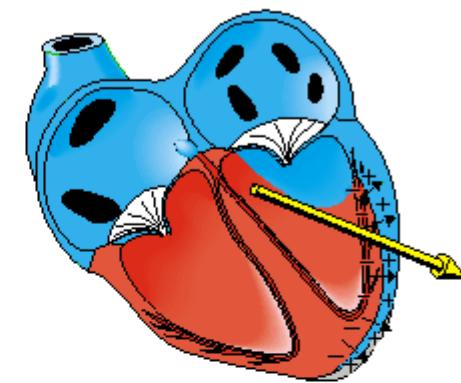
APICAL
DEPOLARIZATION
230 ms



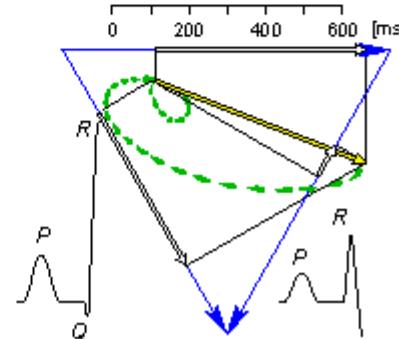
R



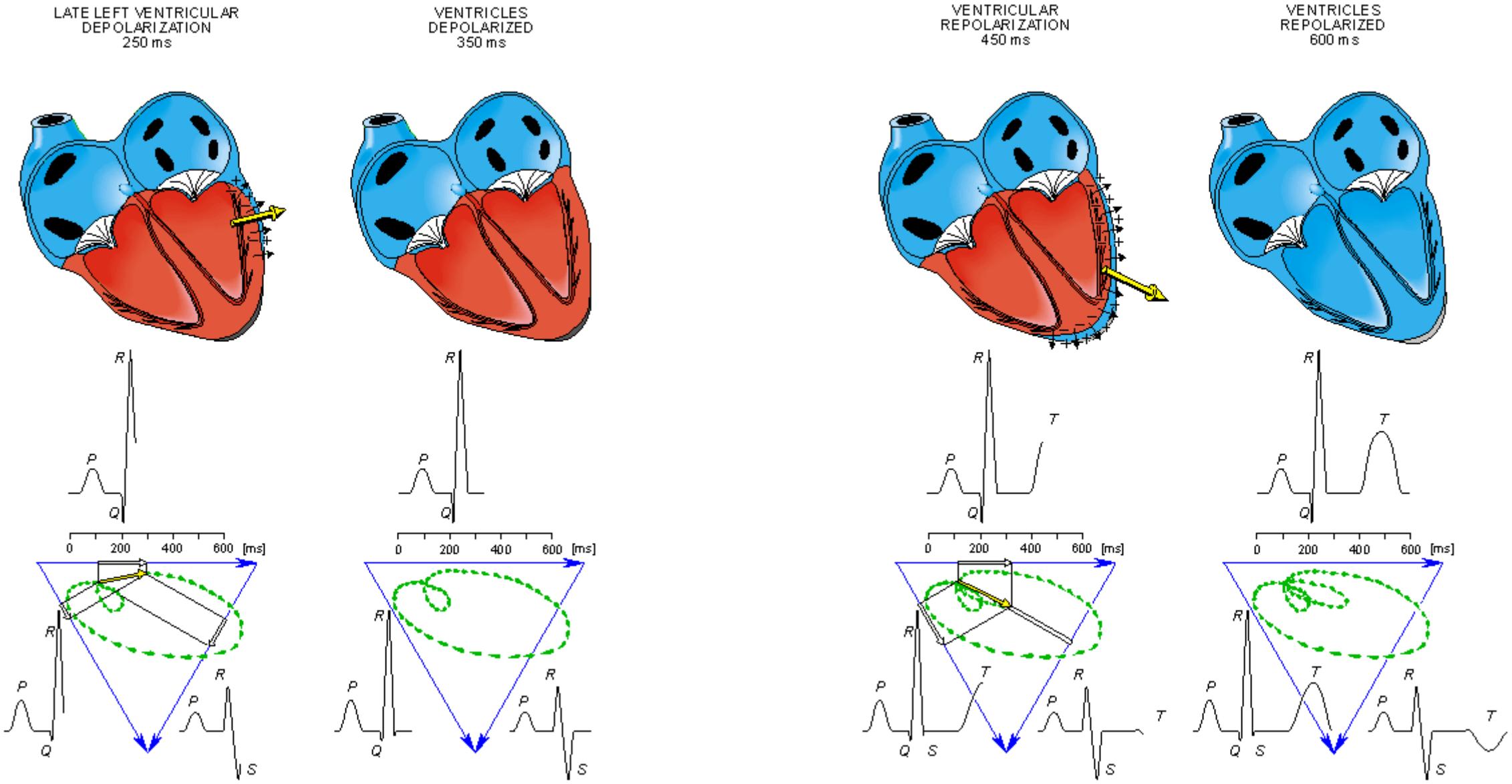
LEFT VENTRICULAR
DEPOLARIZATION
240 ms



P

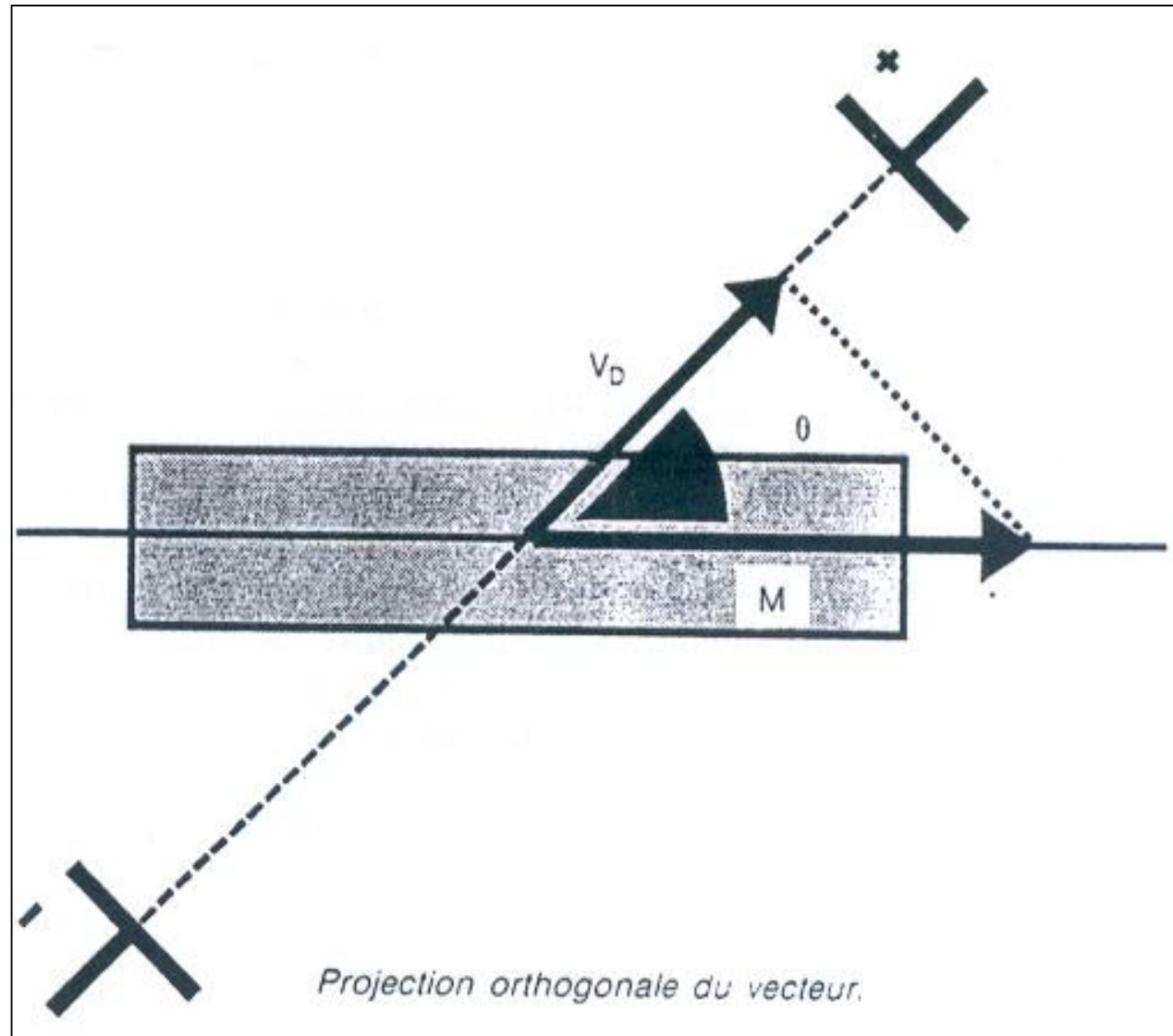


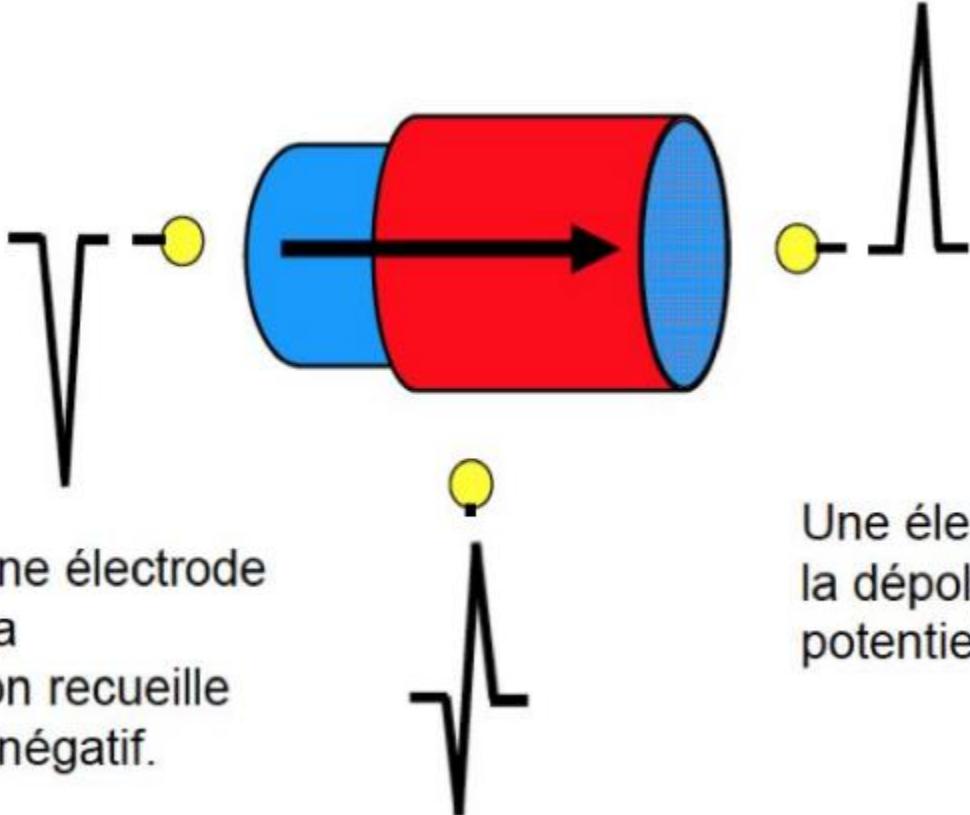
S



LE DIPÔLE

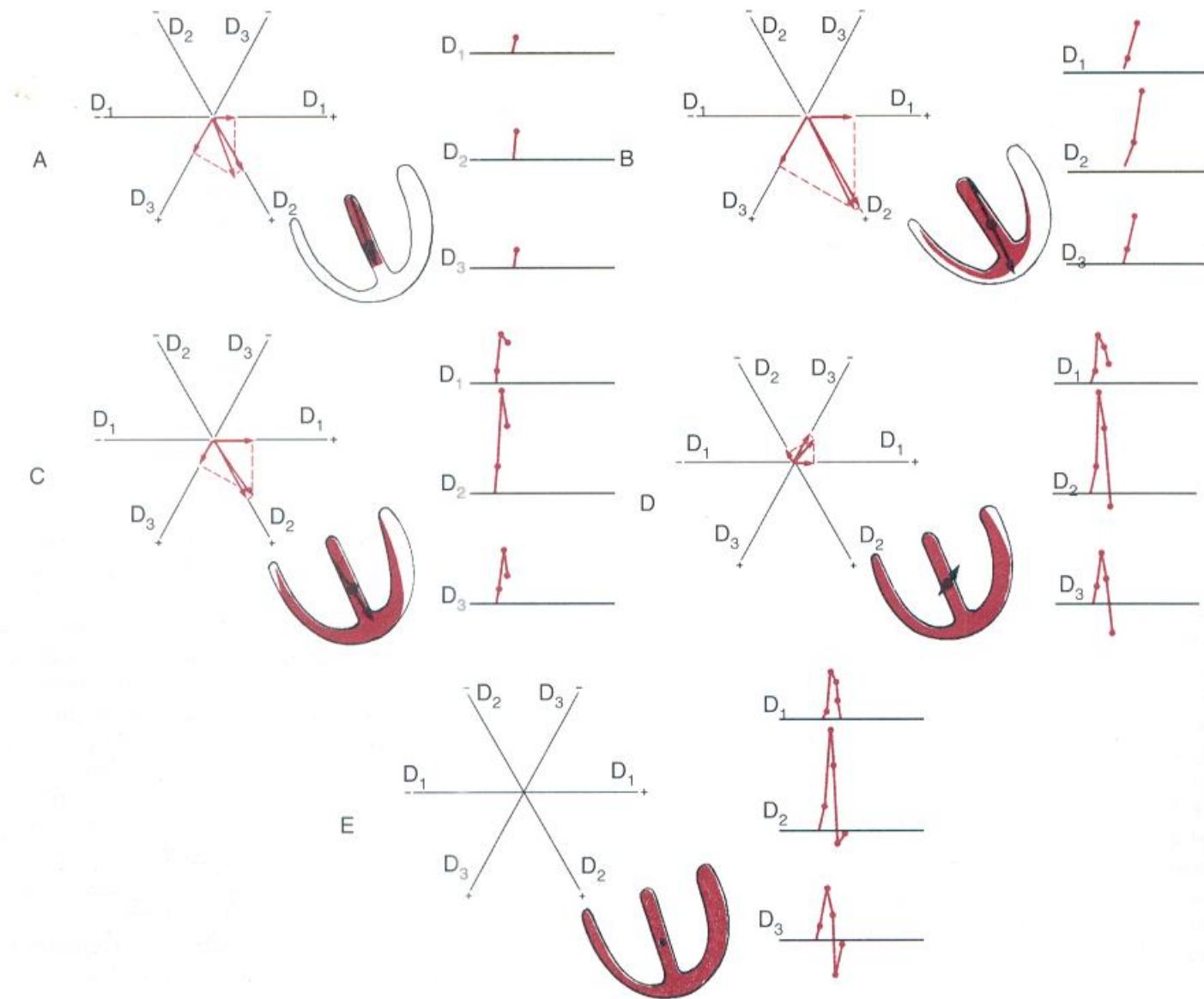
- Le rôle de l'angle θ



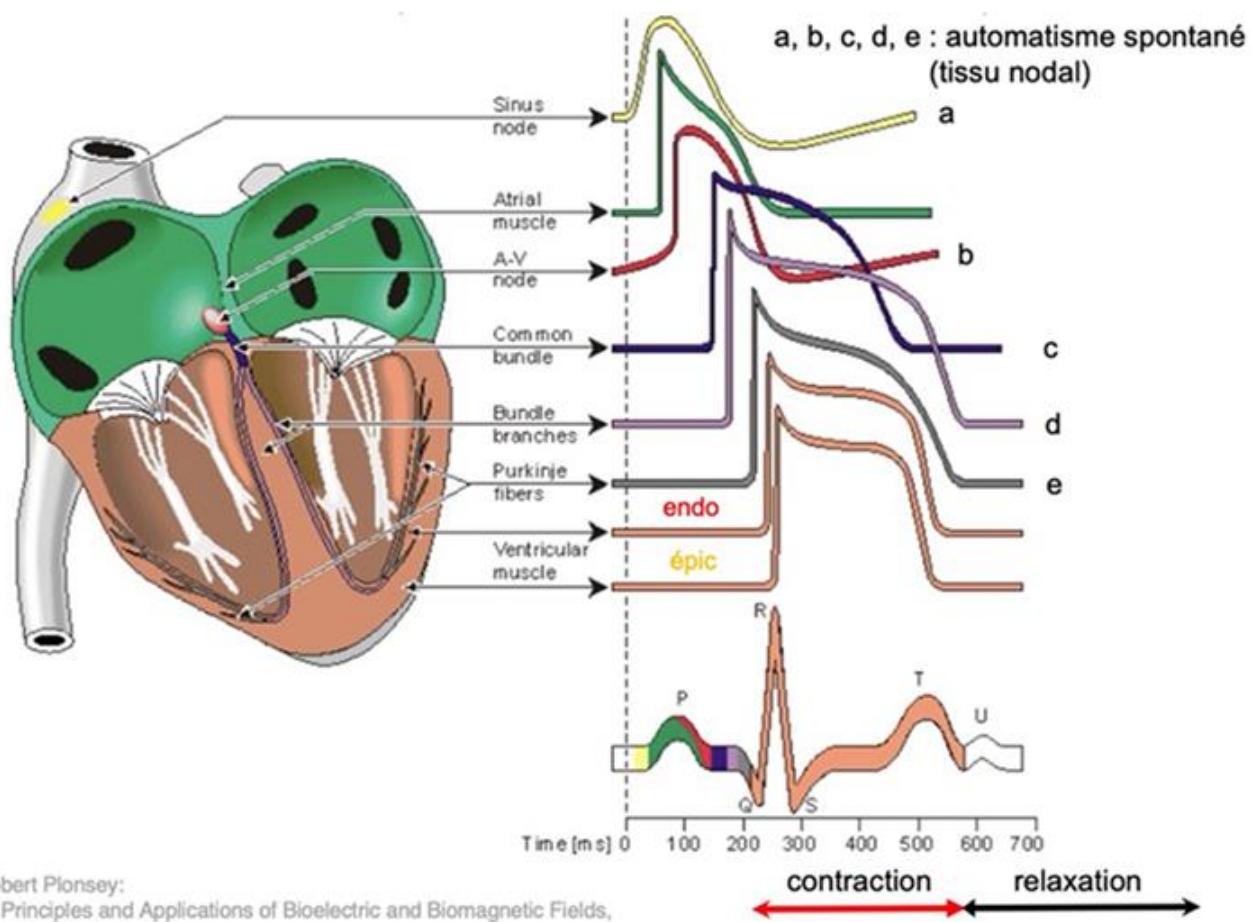


A l'opposé une électrode
qui voit fuir la
dépolarisation recueille
un potentiel négatif.

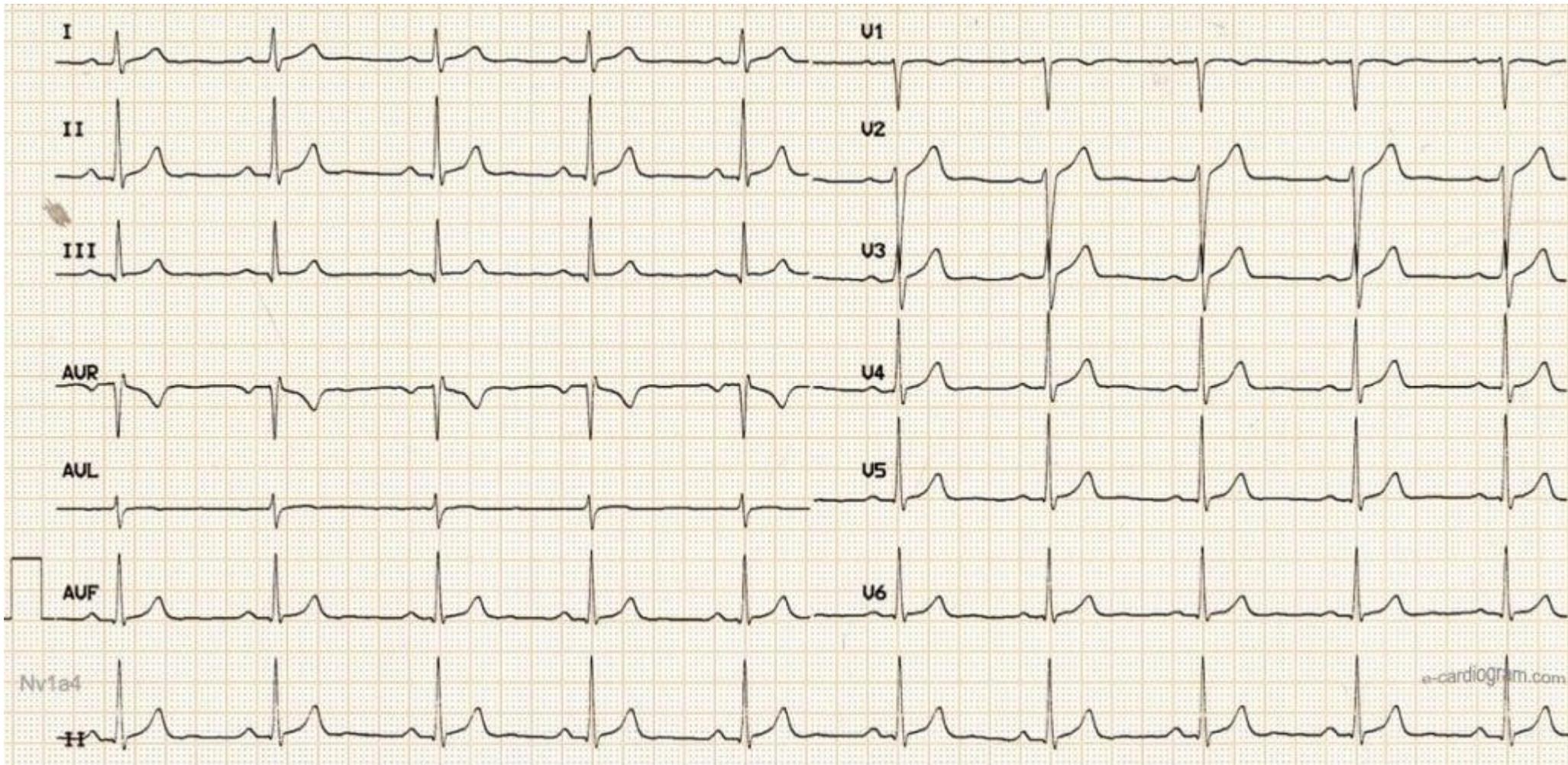
Une électrode qui voit venir
la dépolarisation recueille un
potentiel positif.



A, les vecteurs ventriculaires et les complexes QRS 0,01 seconde, B, 0,02 seconde, C, 0,035 seconde, D, 0,05 seconde après le début de la dépolarisation ventriculaire. E, correspond à la dépolarisation ventriculaire complète 0,06 seconde après sa naissance.

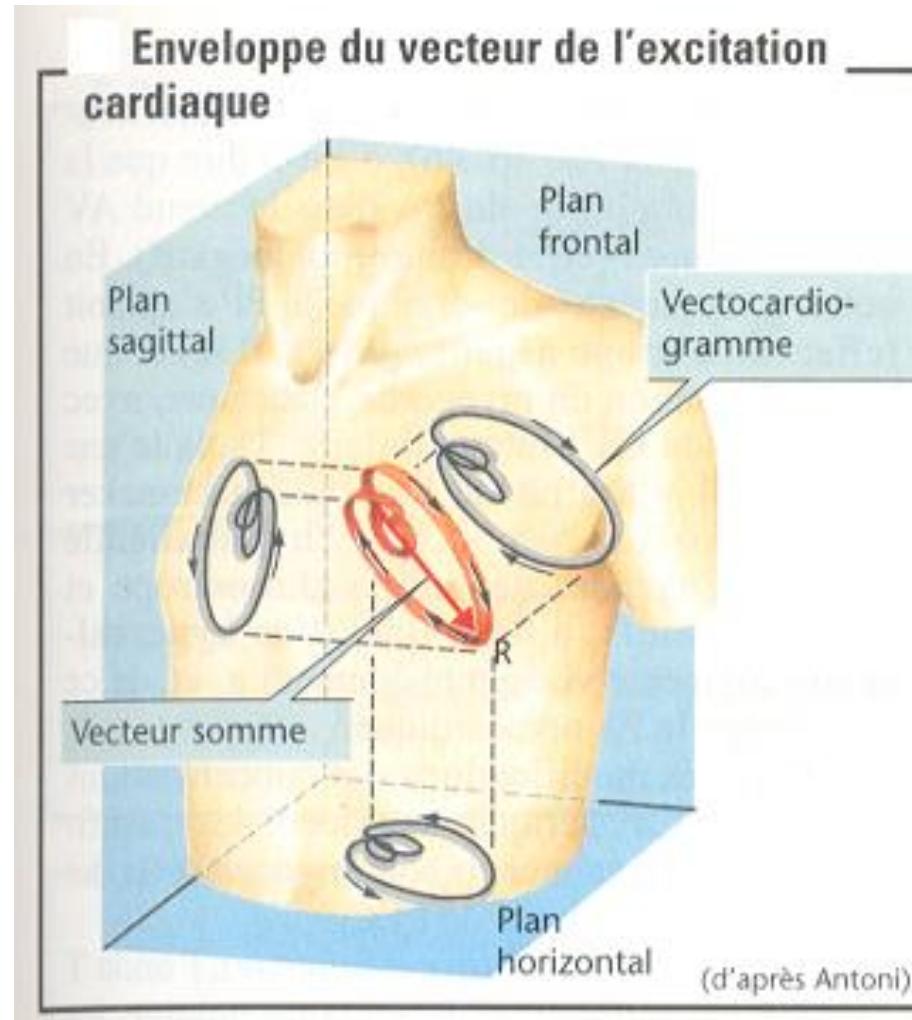


Jaakko Malmivuo & Robert Plonsey:
Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields,
Oxford University Press, New York, 1995.



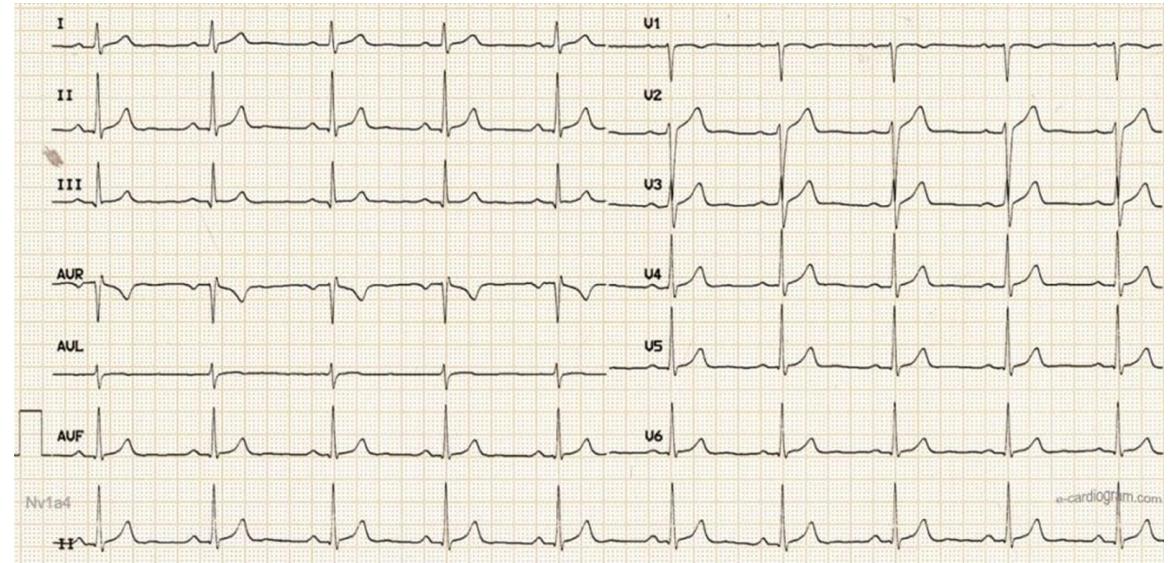
ECG normal pour un patient masculin de 35 ans

Le dipôle dans l'espace



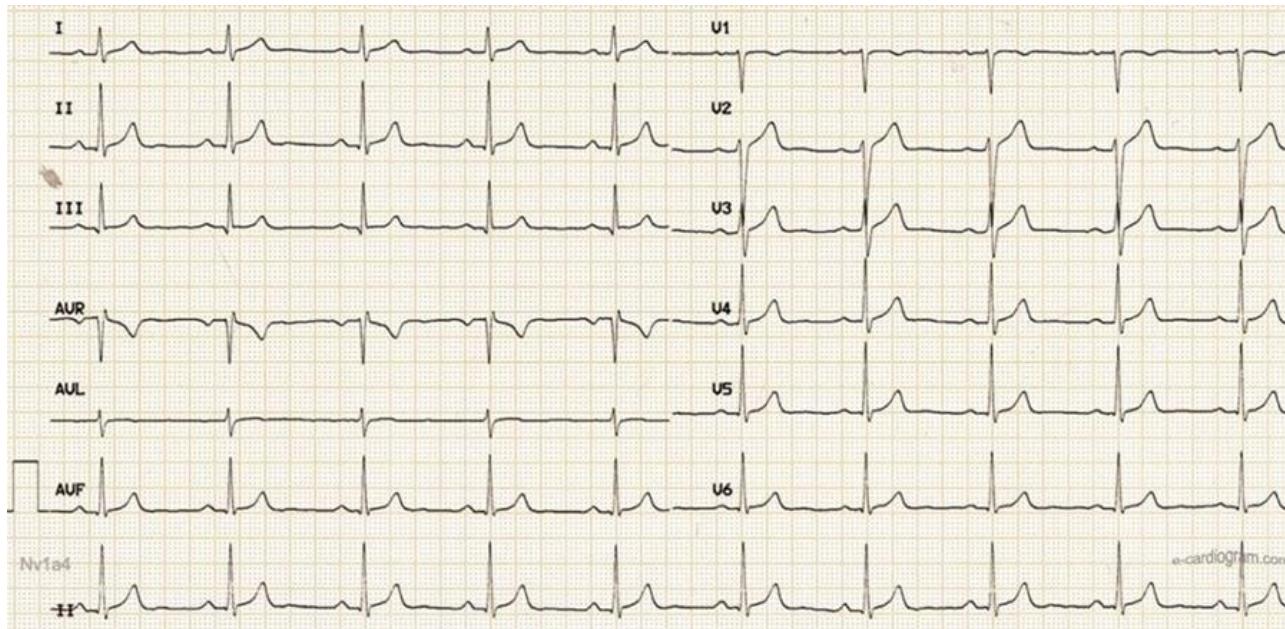
L'ECG STANDARD

- Les conventions de base
- Les dérivations de l'ECG standard.



Les conventions de base

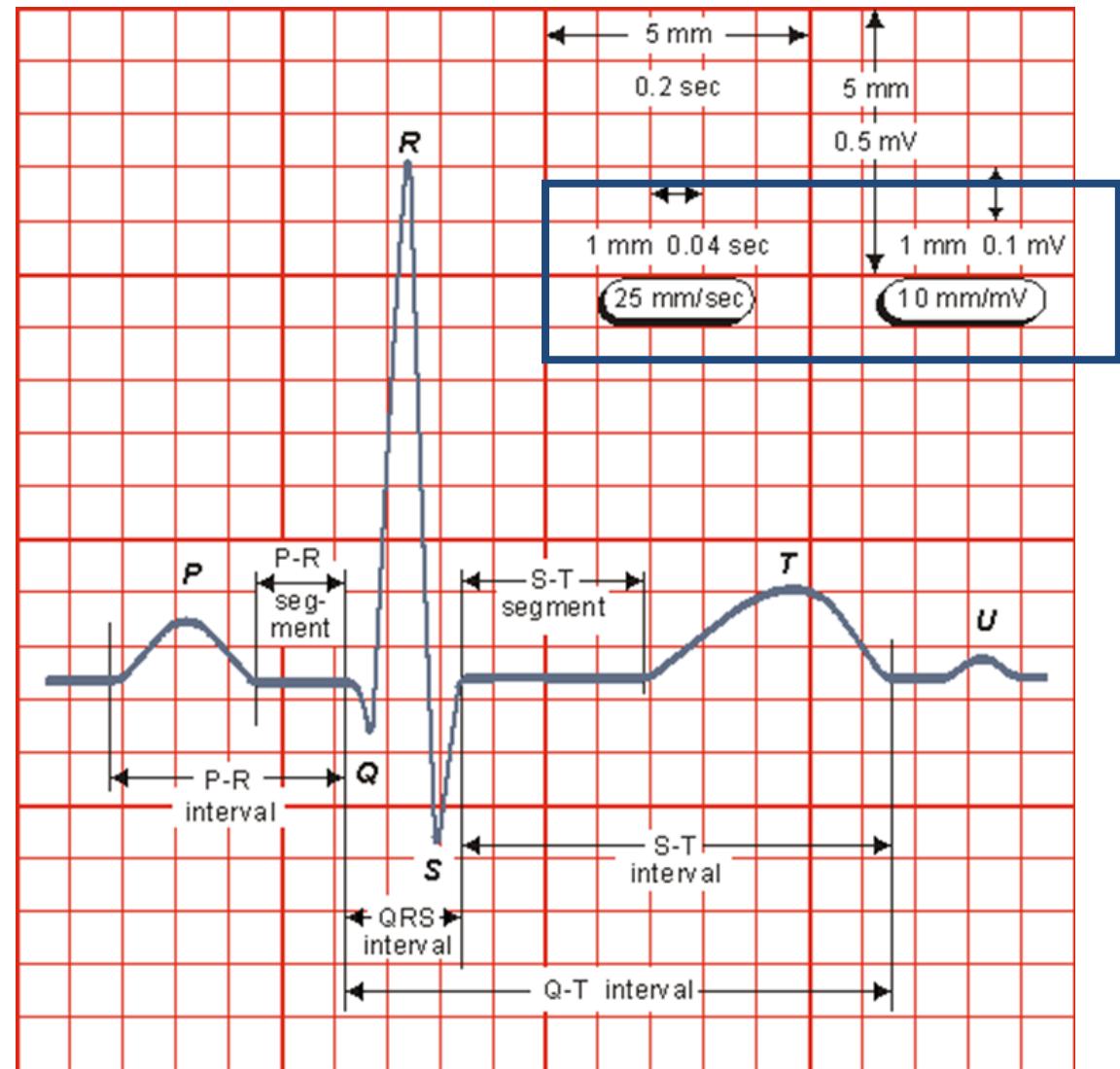
- ECG :
 - enregistrement de l'activité électrique cardiaque à partir d'électrodes disposées sur la peau.



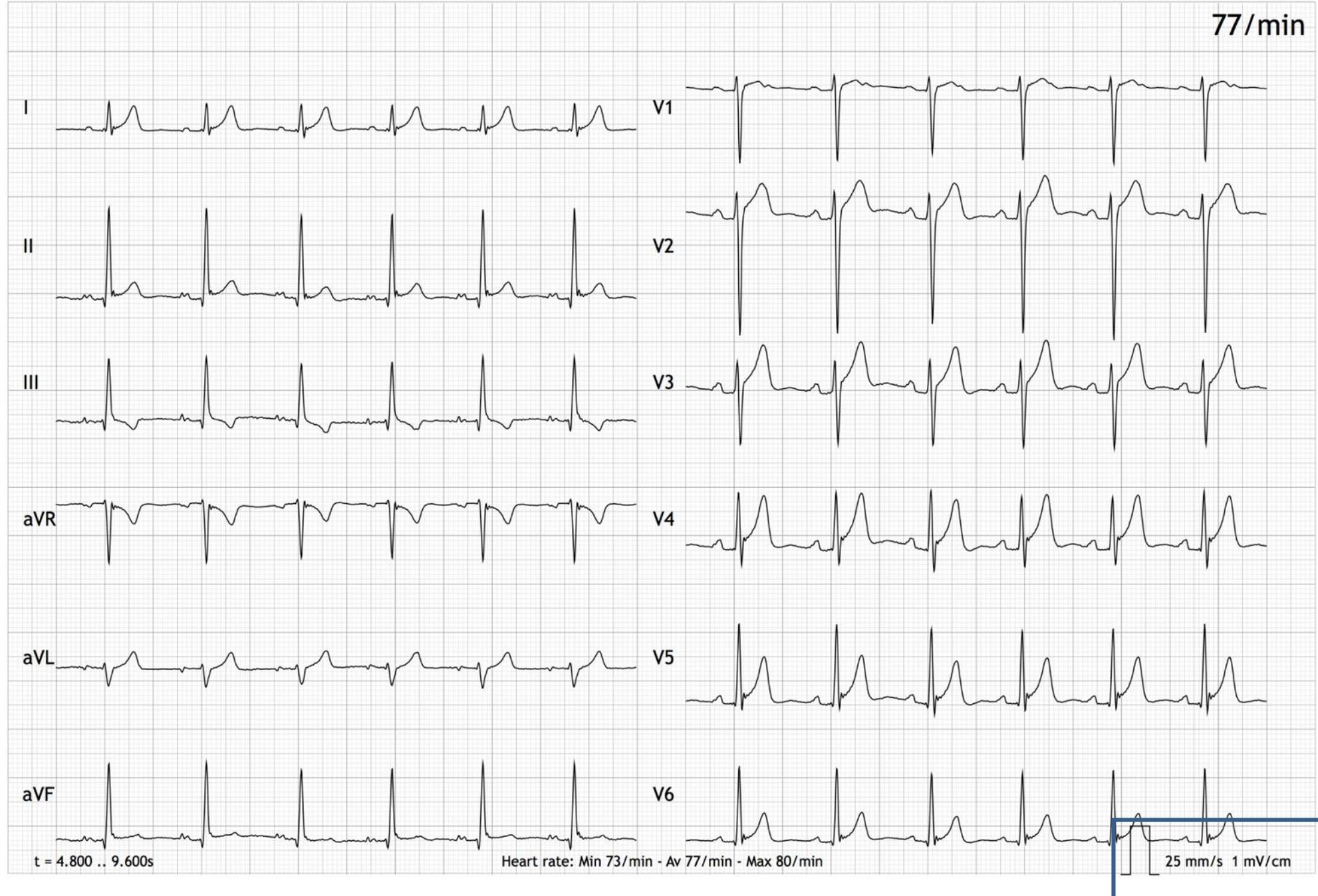
Les conventions de base

Conventions :

- $1\text{mV} \rightarrow 10\text{mm}$
- $1\text{s} \rightarrow 25\text{mm}$ $1\text{mm} \rightarrow 0.04\text{s}$
- 1 accident :
 - peut être constitué d'une série de petites déflexions de part et d'autre de la ligne de base
 - Signe global : somme algébrique des hauteurs des déflexions
 - Ex : complexe QRS

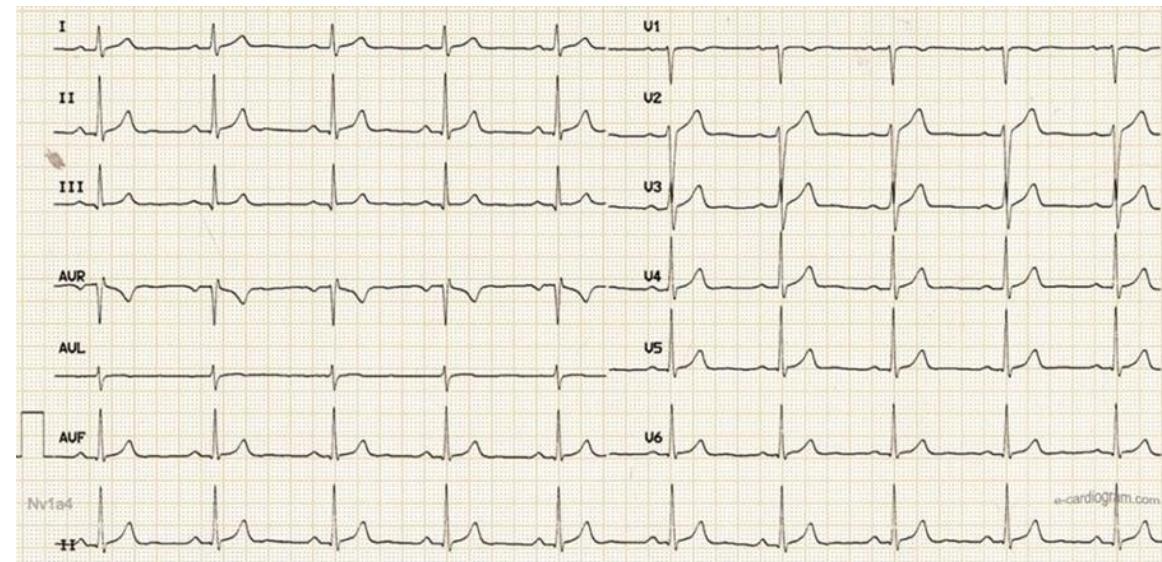


77/min

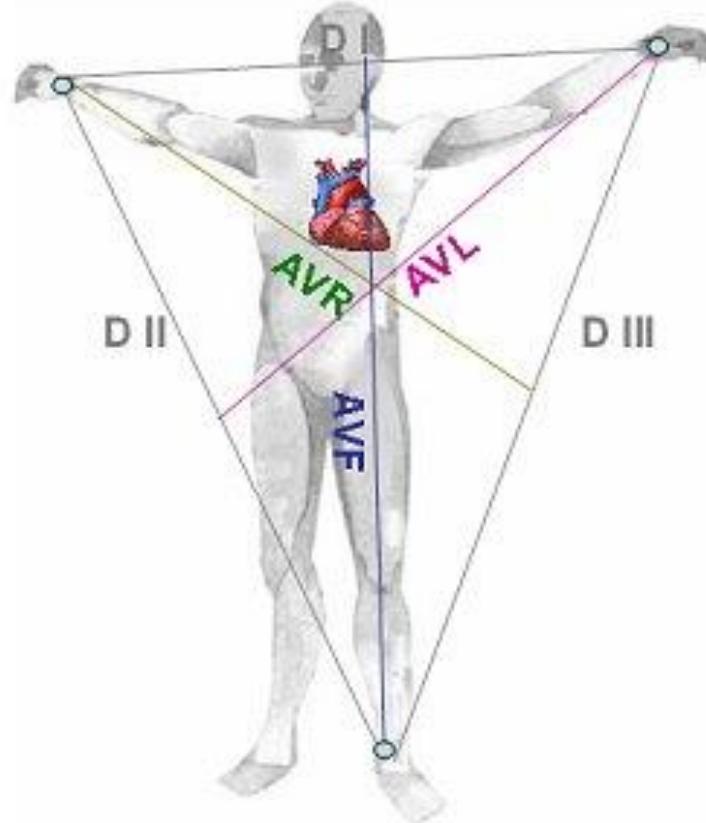
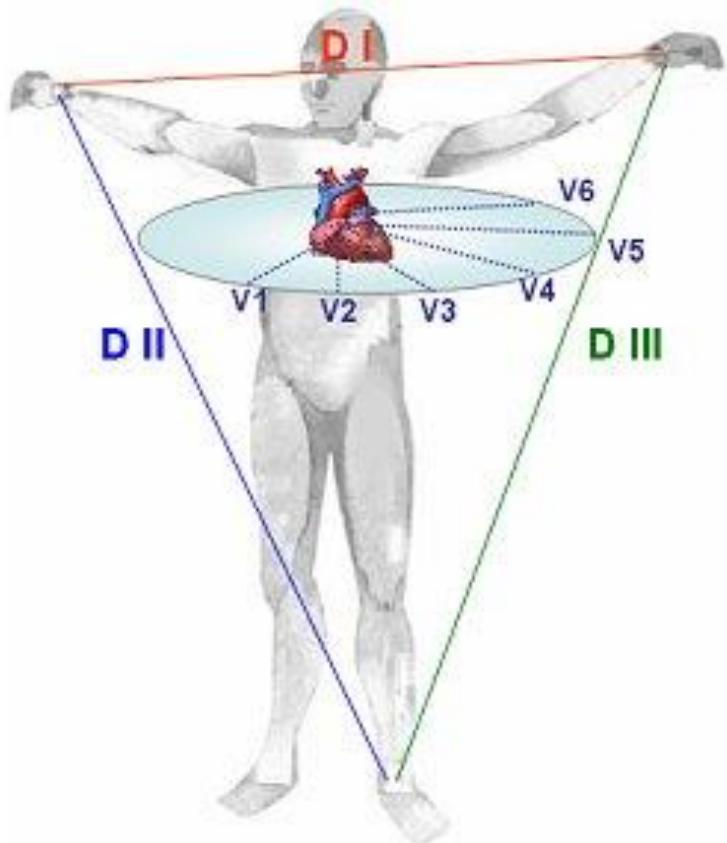


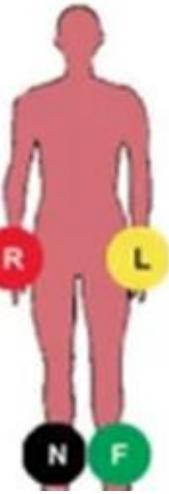
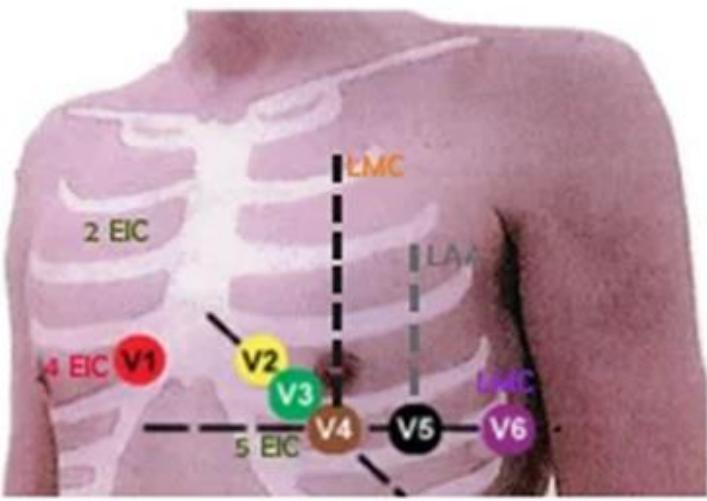
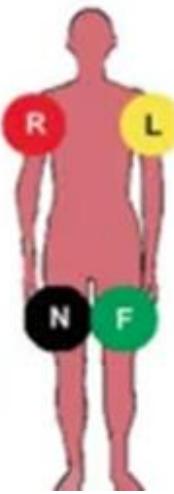
Les dérivations de l'ECG standard

- ECG : 12 dérivations
- Dérivations des membres : périphériques : 6
 - Monopolaires : 3
 - Bipolaires : 3
- Dérivations thoraciques : précordiales : 6
- Électrode terre : sur le membre inférieur droit



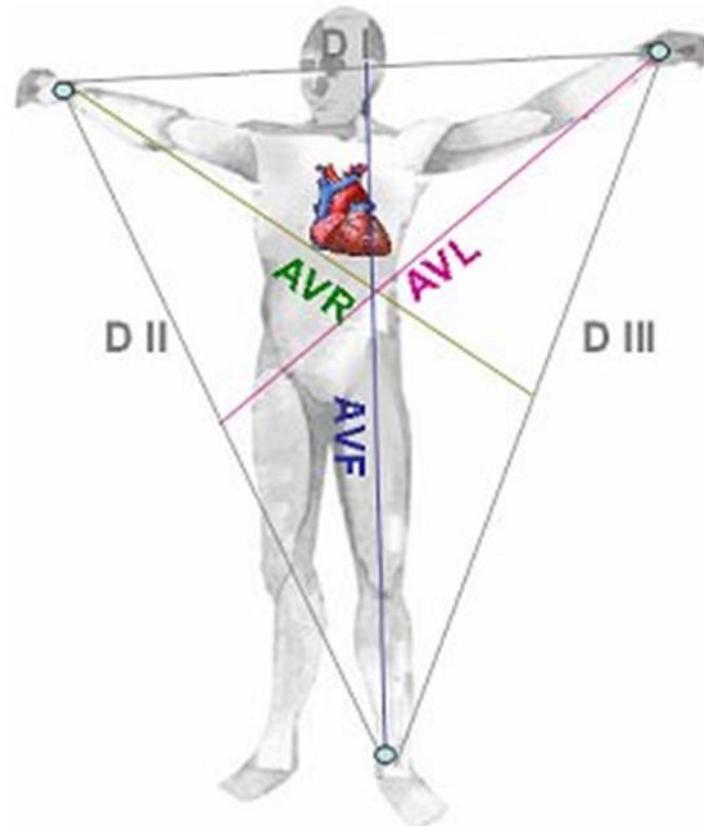
Les dérivations de l'ECG standard





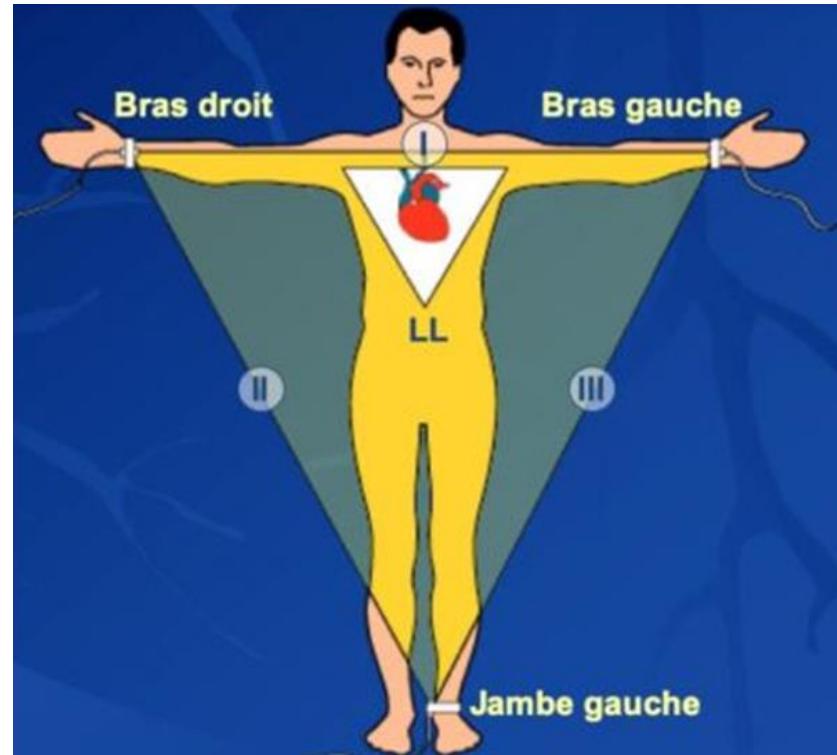
DÉRIVATIONS DES MEMBRES

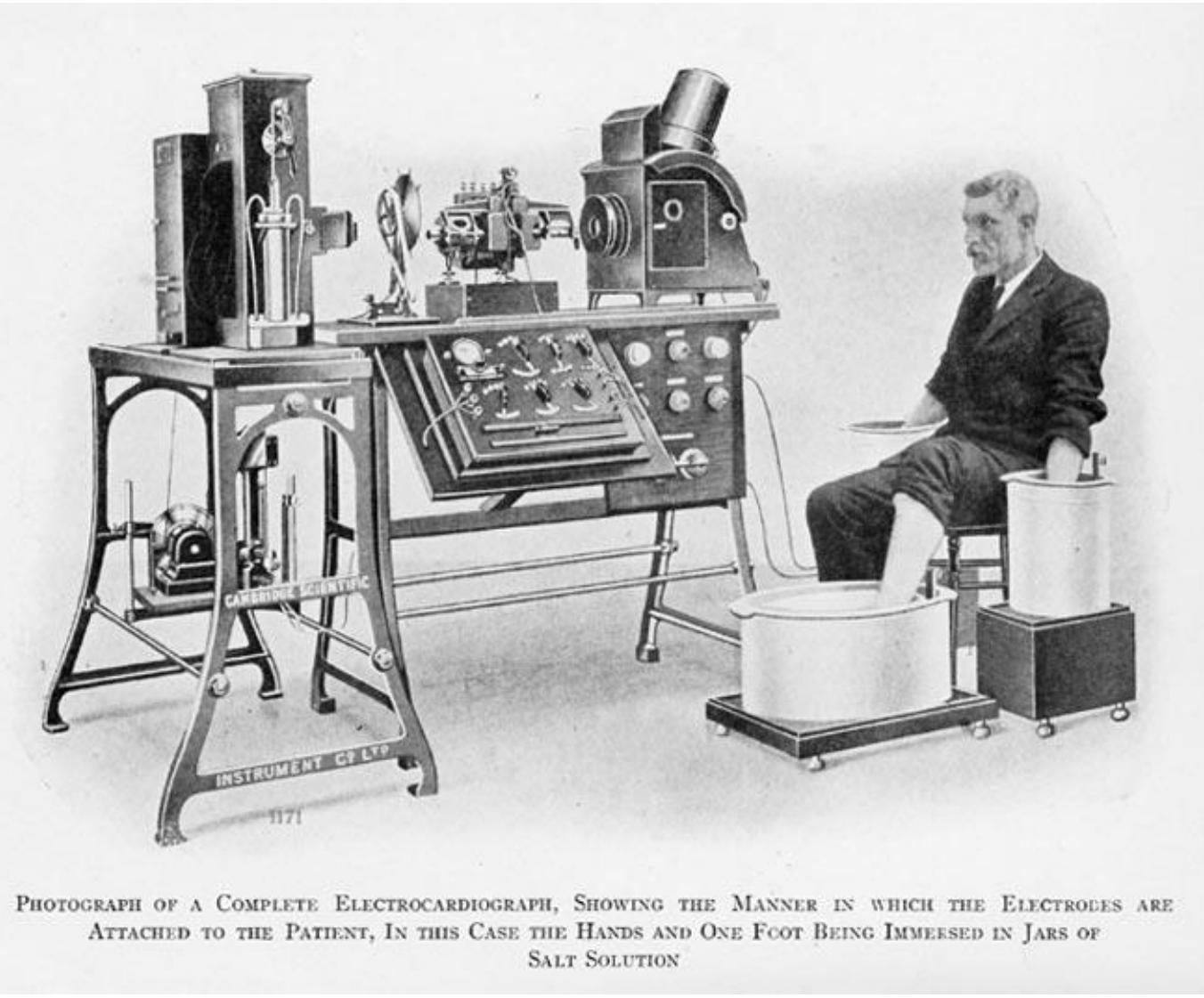
- Dérivations bipolaires
- Dérivations monopolaires
- Le double tri-axe



Dérivations bipolaires

- Dérivation :
 - à partir de 2 électrodes
- Hypothèse d'Einthoven :
 - cœur : centre d'un triangle équilatéral
 - Sommets du triangle :
 - Épaule droite
 - Épaule gauche
 - Région pubienne : dorsale basse





PHOTOGRAPH OF A COMPLETE ELECTROCARDIOGRAPH, SHOWING THE MANNER IN WHICH THE ELECTRODES ARE ATTACHED TO THE PATIENT, IN THIS CASE THE HANDS AND ONE FOOT BEING IMMERSSED IN JARS OF SALT SOLUTION

Le système ECG d'Einthoven en 1903.

En pratique :

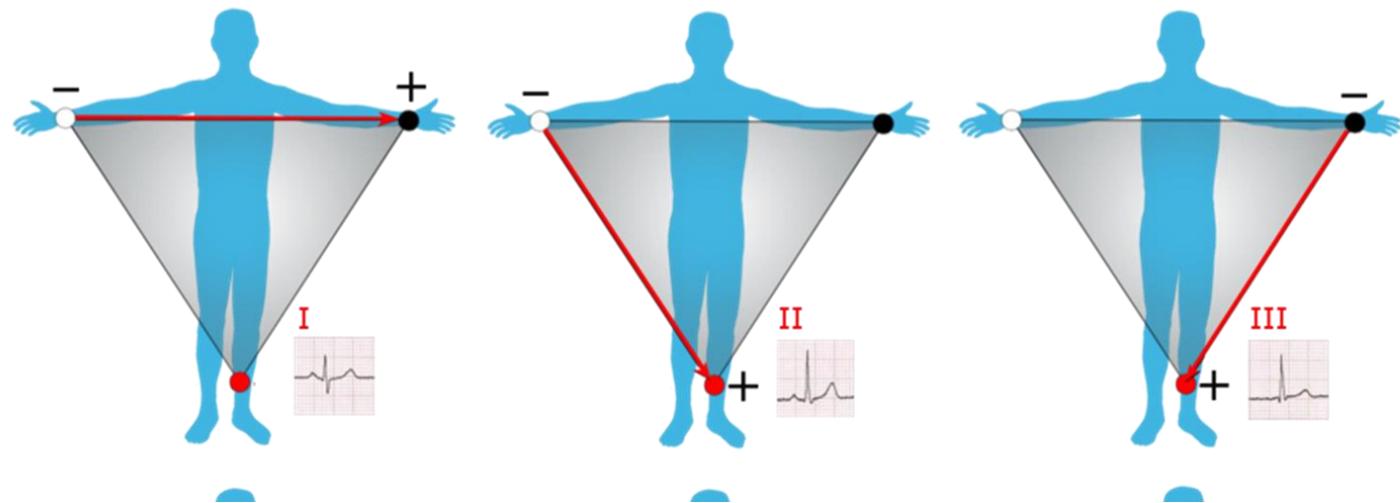
- Electrodes :

- R : poignet du MS dt
- L : poignet du MS gche
- F : cheville du MI gche

- Dérivations :

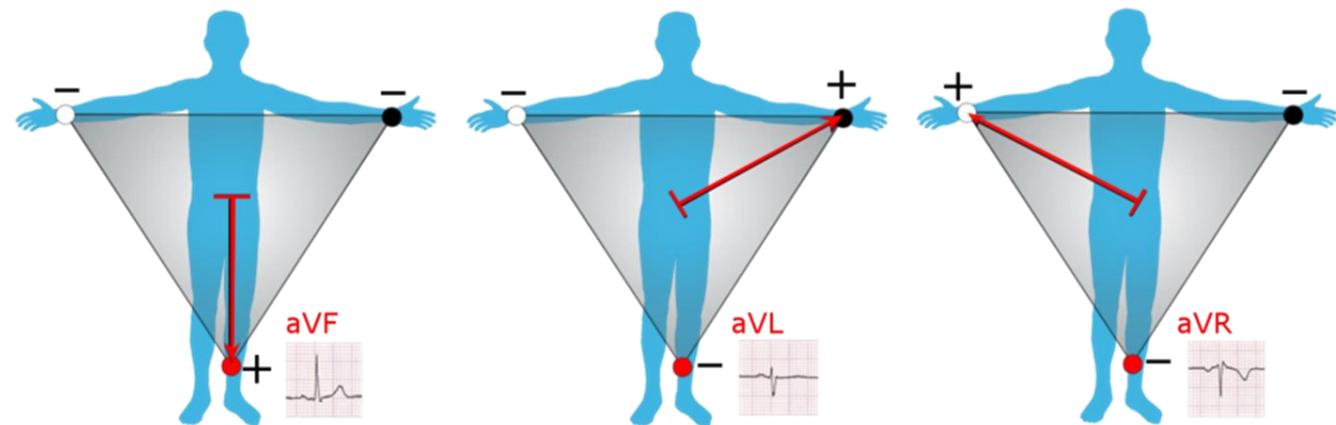
- D1 : R → L
- D2 : R → F
- D3 : L → F

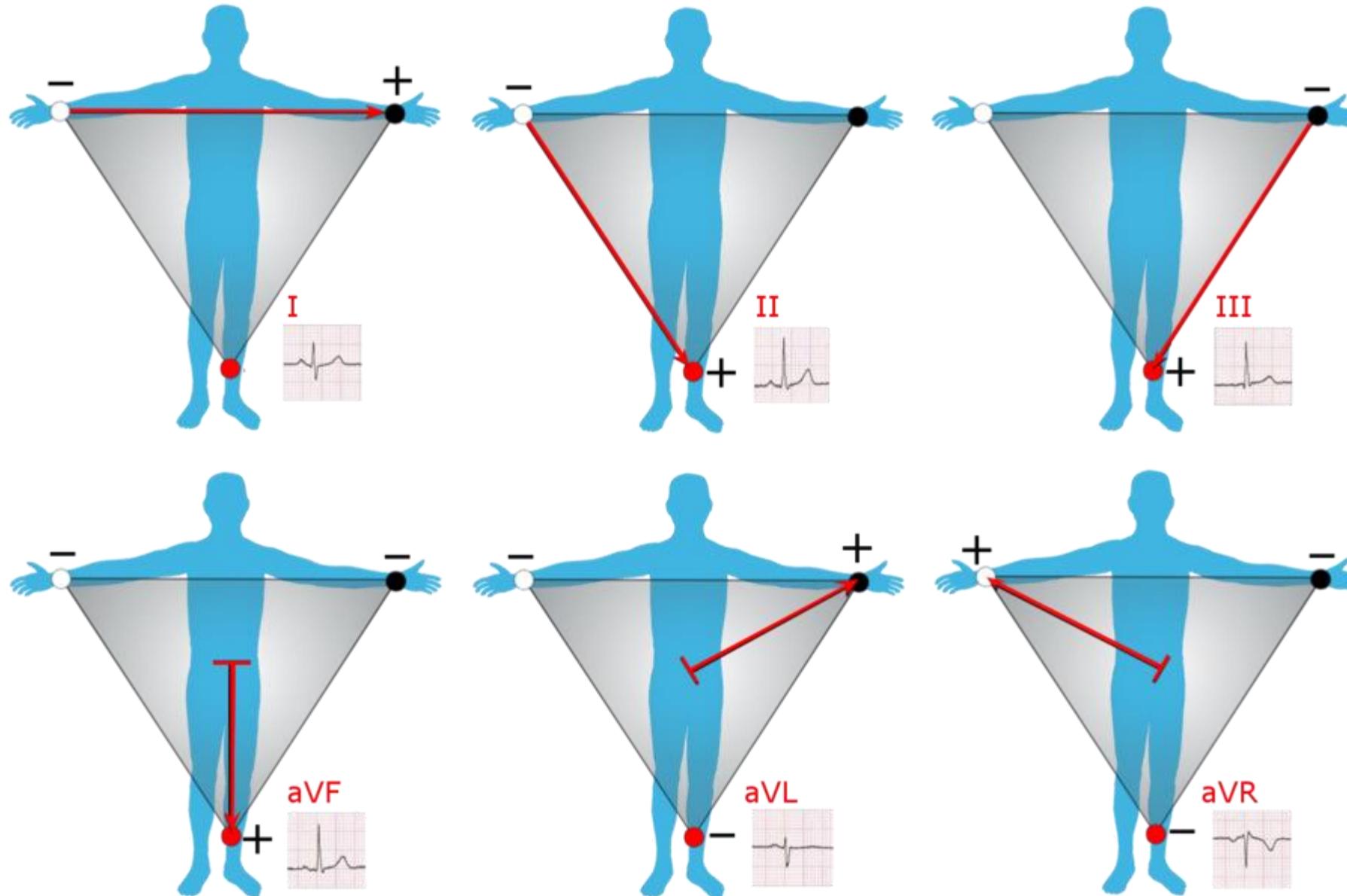
- $D2 = D1 + D3$



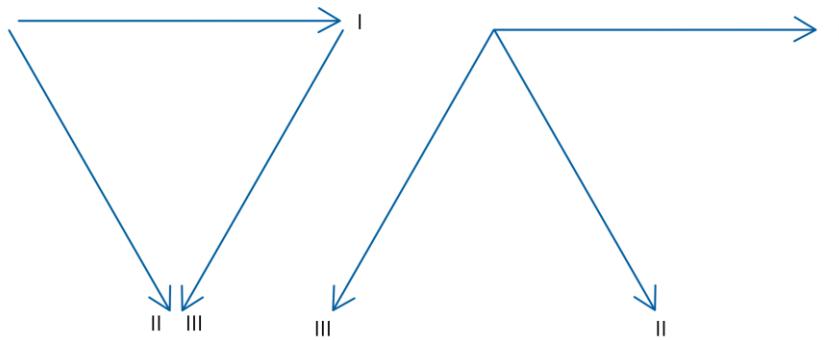
Dérivations monopolaires

- Potentiel zéro : Borne centrale : de Wilson
- Electrodes exploratrices : R, L, F
- Dérivations :
 - VR
 - VL
 - VF



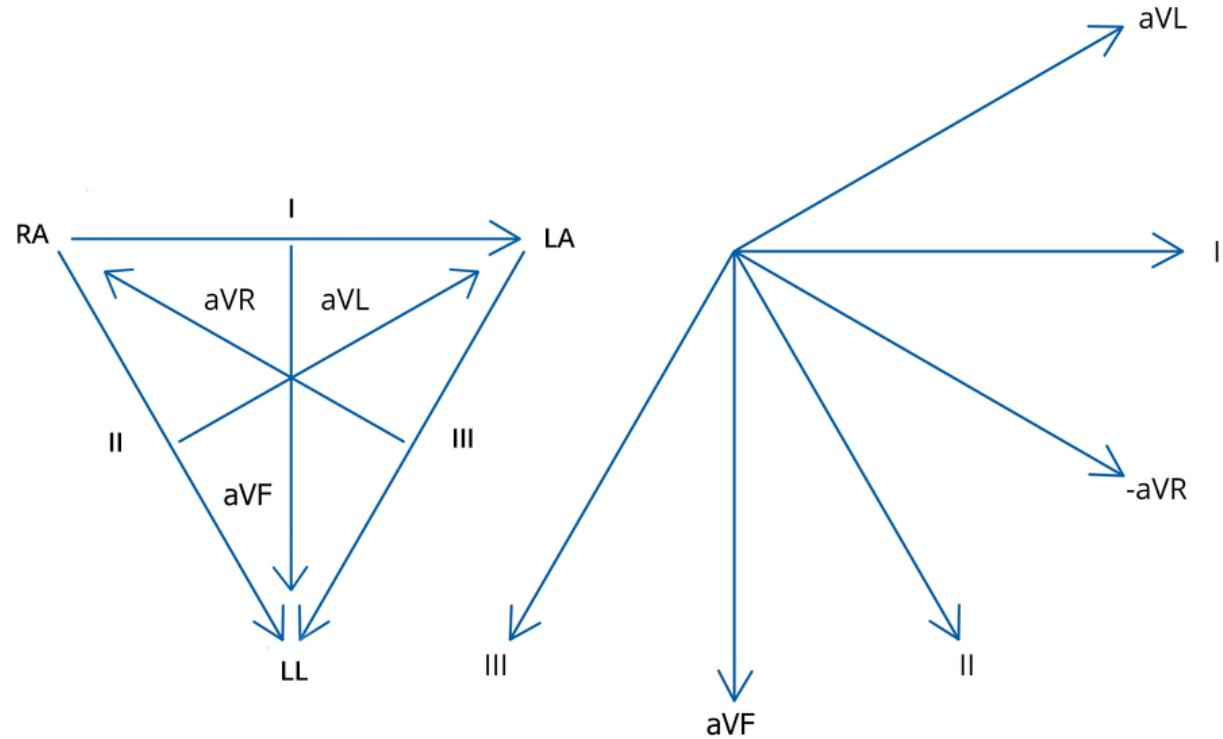


Graphical representation of Einthoven's triangle



Le triangle d'Einthoven

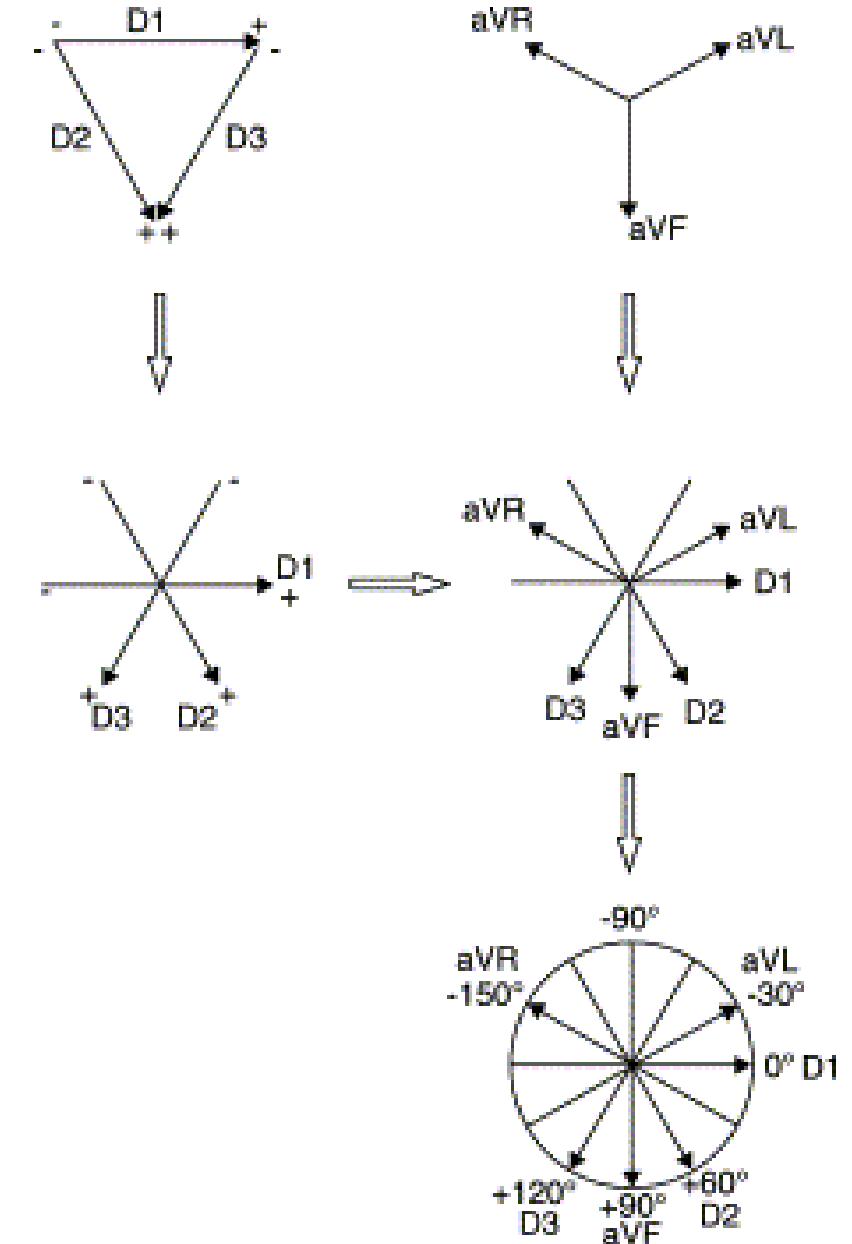
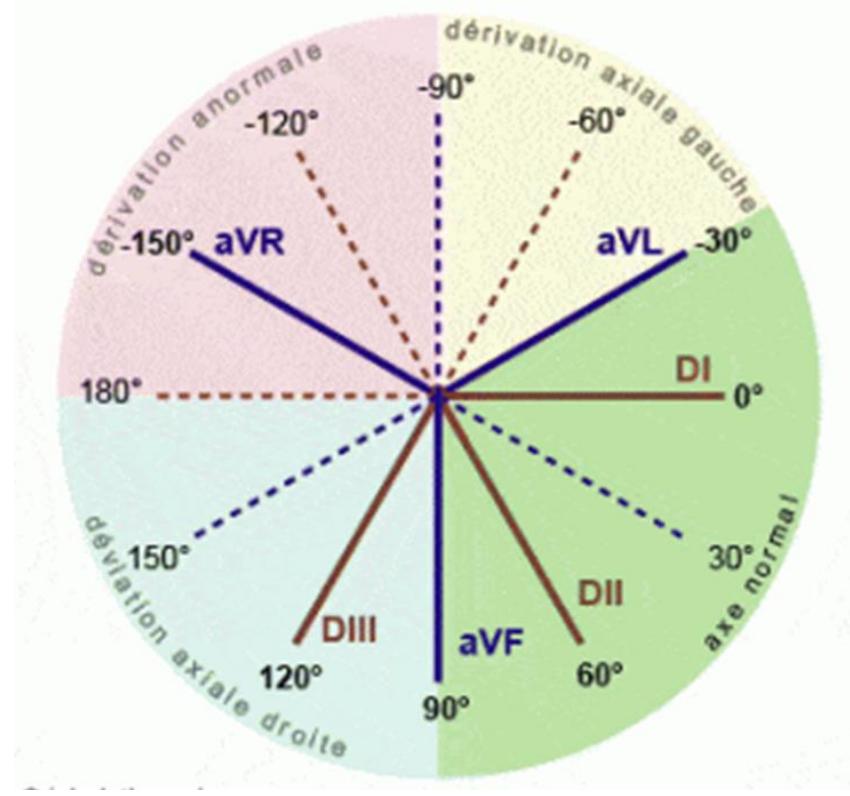
Système de dérivations selon Goldberger



Système de dérivations selon Wilson

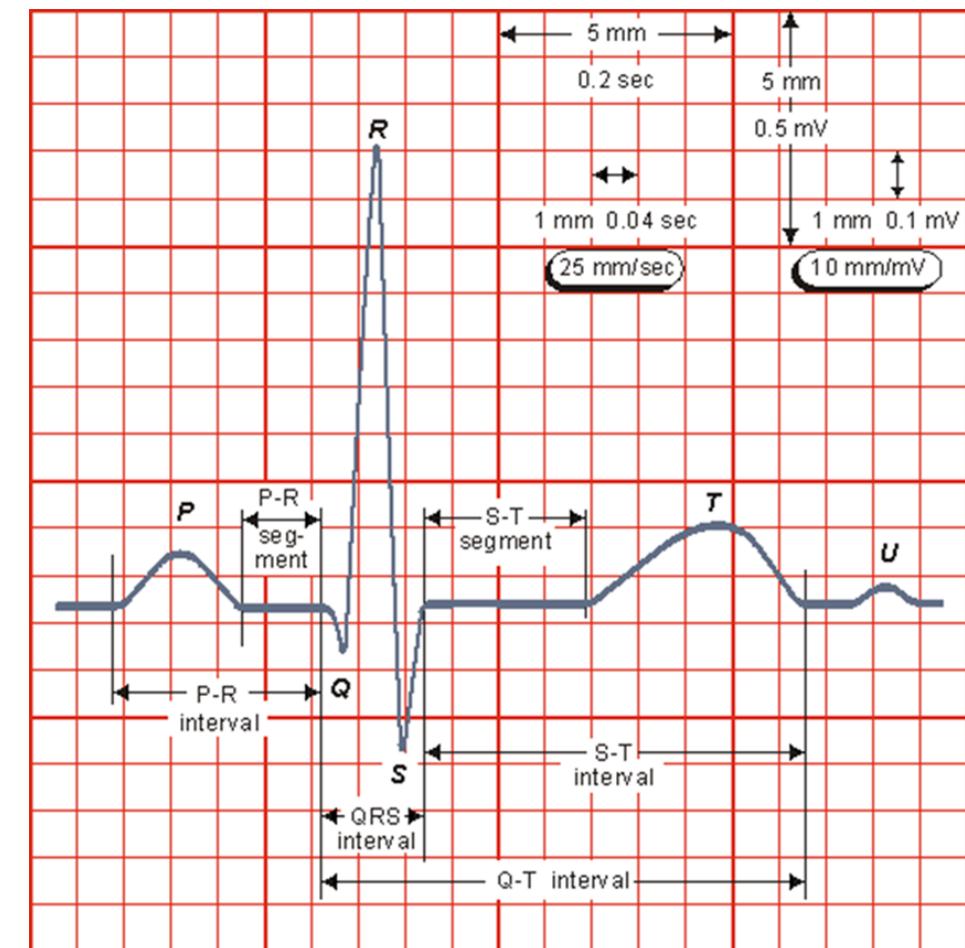
Le double tri-axe

- Dérivations des membres: Sur un plan frontal

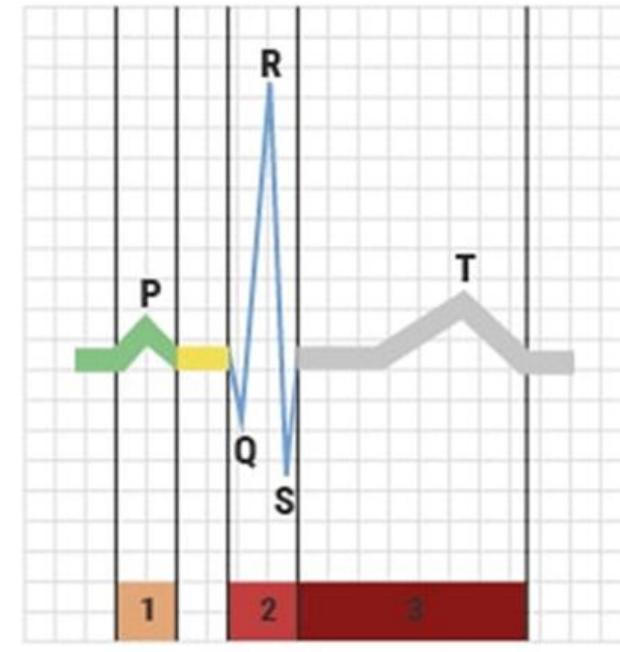
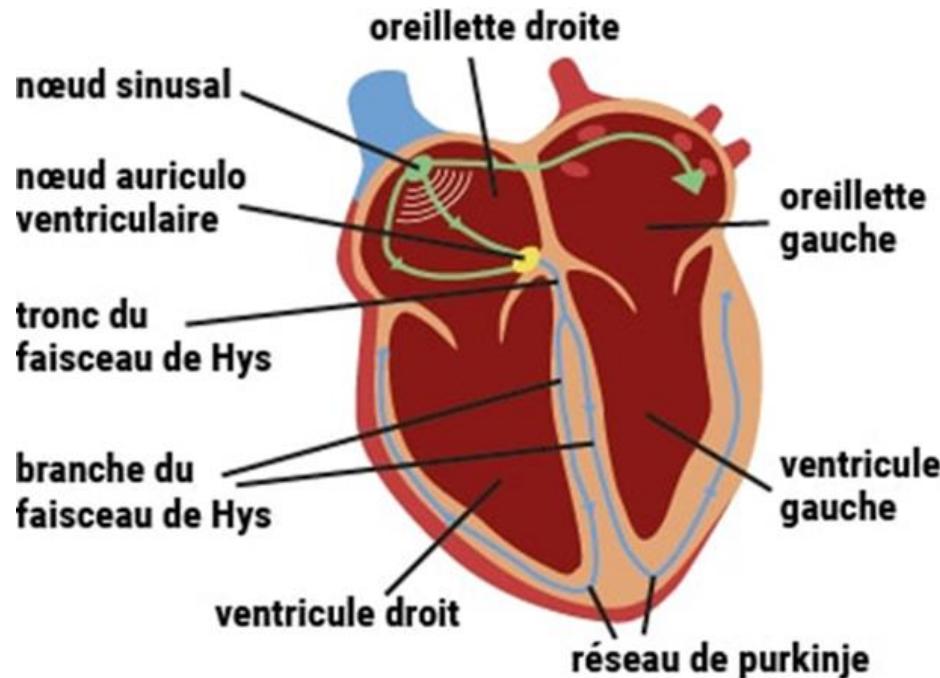


L'ECG STANDARD EN DÉRIVATIONS DES MEMBRES

- Les différentes déflections
- Onde P
- Intervalle PQ (ou PR)
- Complexe QRS
- Segment ST et onde T
- Espace QT
- Axe électrique ventriculaire



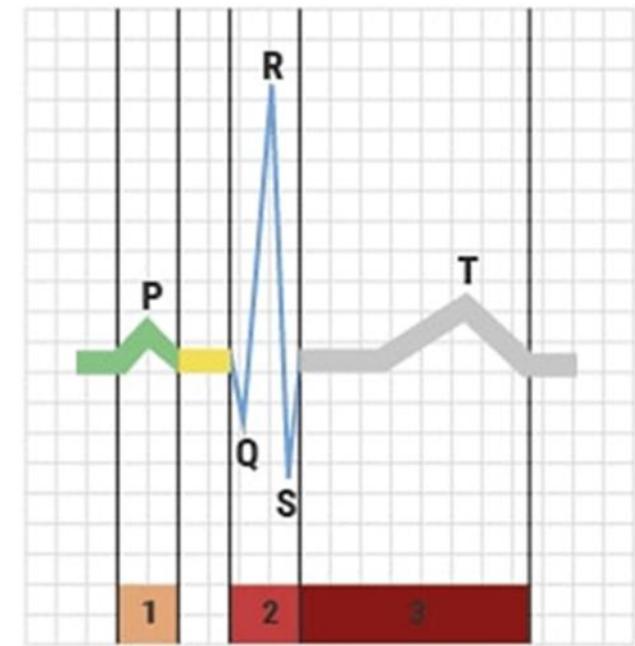
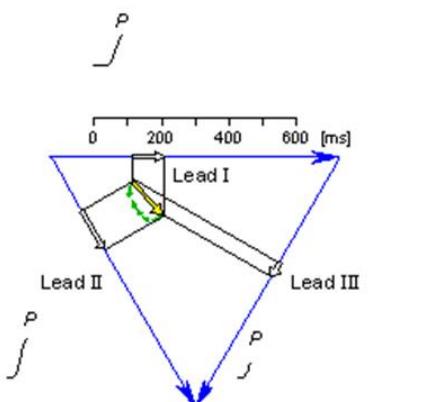
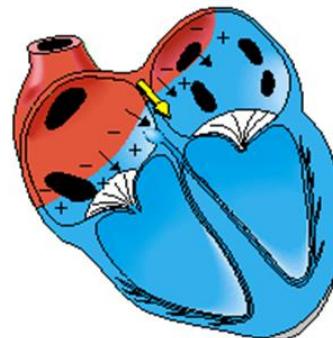
Les différentes déflections



Onde P

- Dépolarisation des oreillettes
- Positive
- Amplitude :
 - faible : 2.5mm
 - Max : en D2
- Durée : 0.08- 0.10s

ATRIAL
DEPOLARIZATION
80 ms

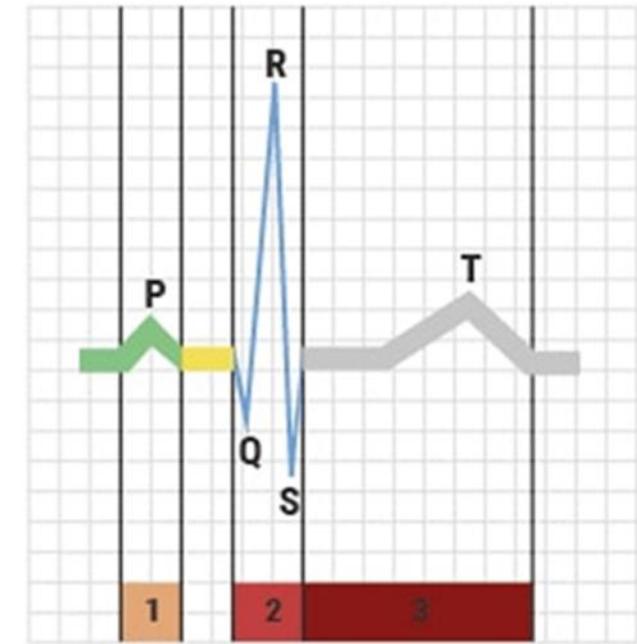
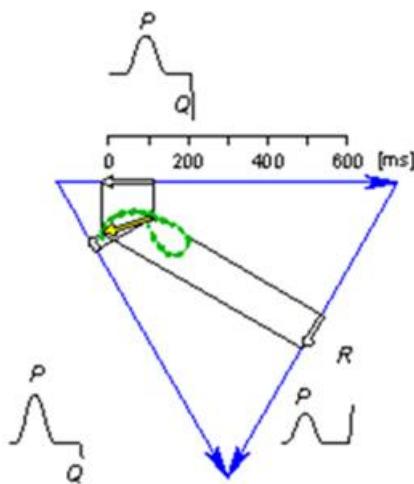


1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules

Intervalle PQ (ou PR)

- Début de P → début de QRS
- Temps que met l'onde de dépolarisation depuis le nœud sinusal jusqu'à son arrivée dans le septum
- 0.12-0.20s

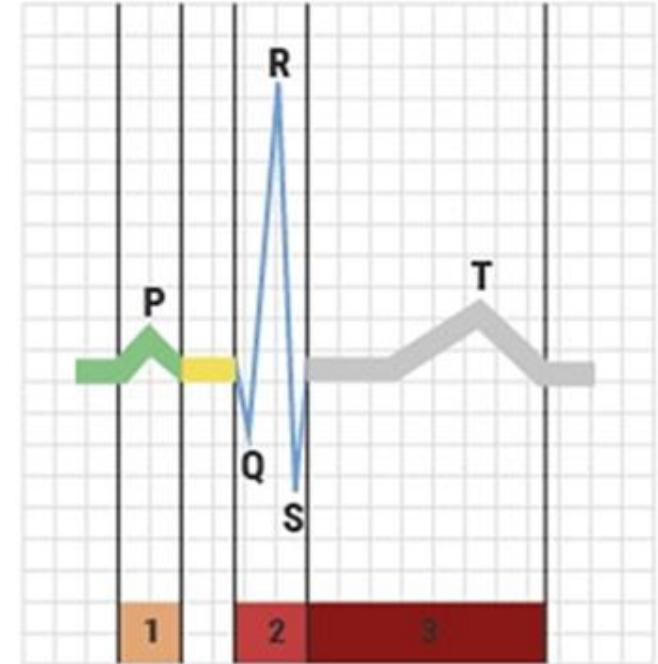
SEPTAL
DEPOLARIZATION
220 ms



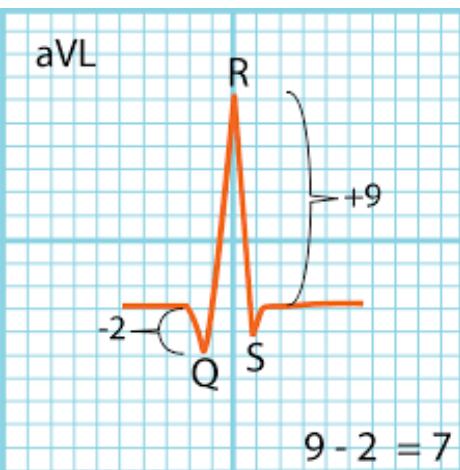
- 1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules

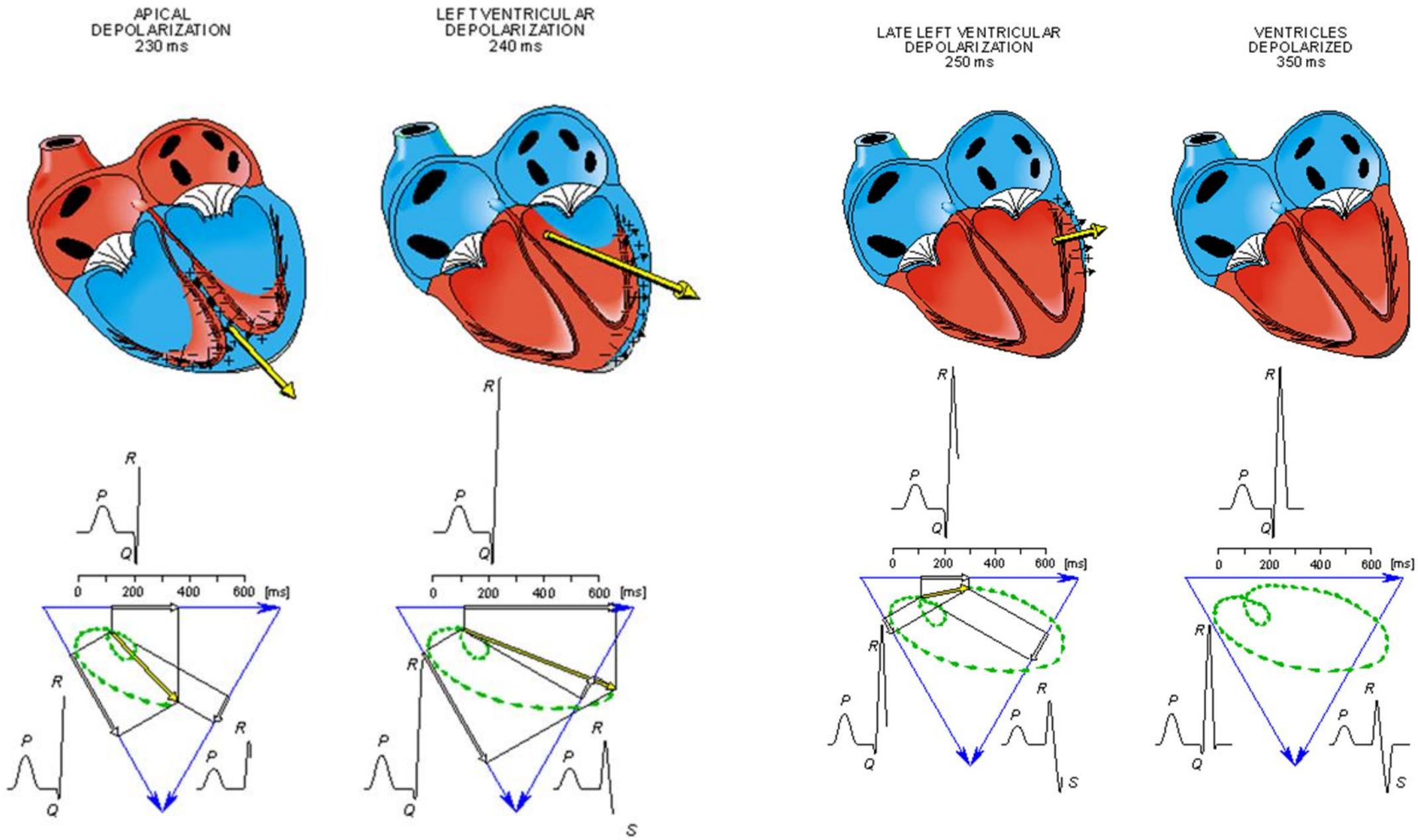
Complexe QRS

- Dépolarisation des ventricules
- 3 déflexions :
 - Q : négative : souvent absente
 - R : positive
 - S : négative
- Signe global :
 - somme algébrique des hauteurs des déflexions
 - En général positif sur les dérivations bipolaires
 - Max : en D2



1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules

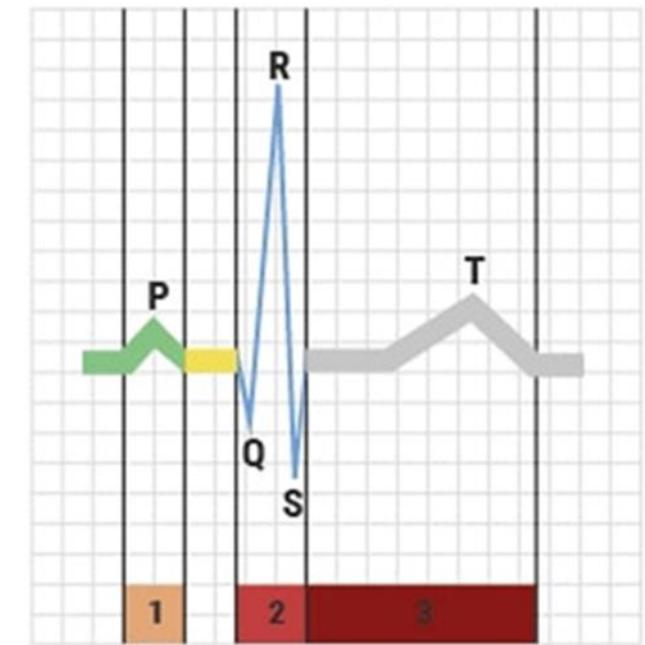
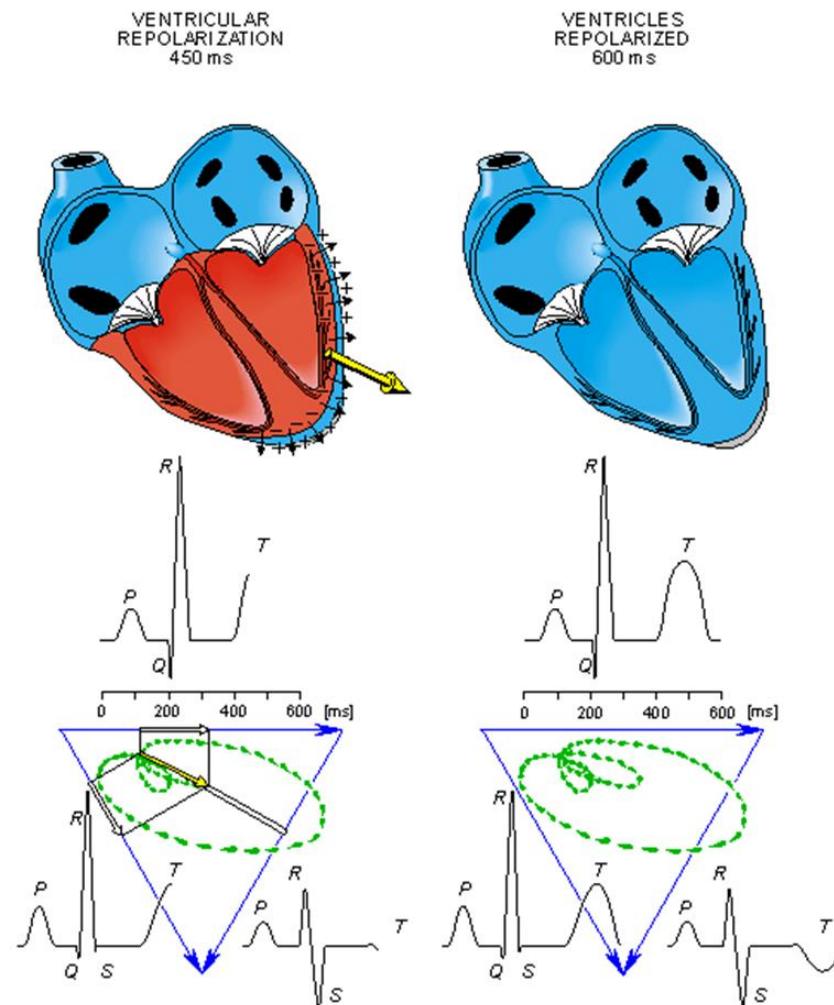




Segment ST et onde T

Repoliarisation :

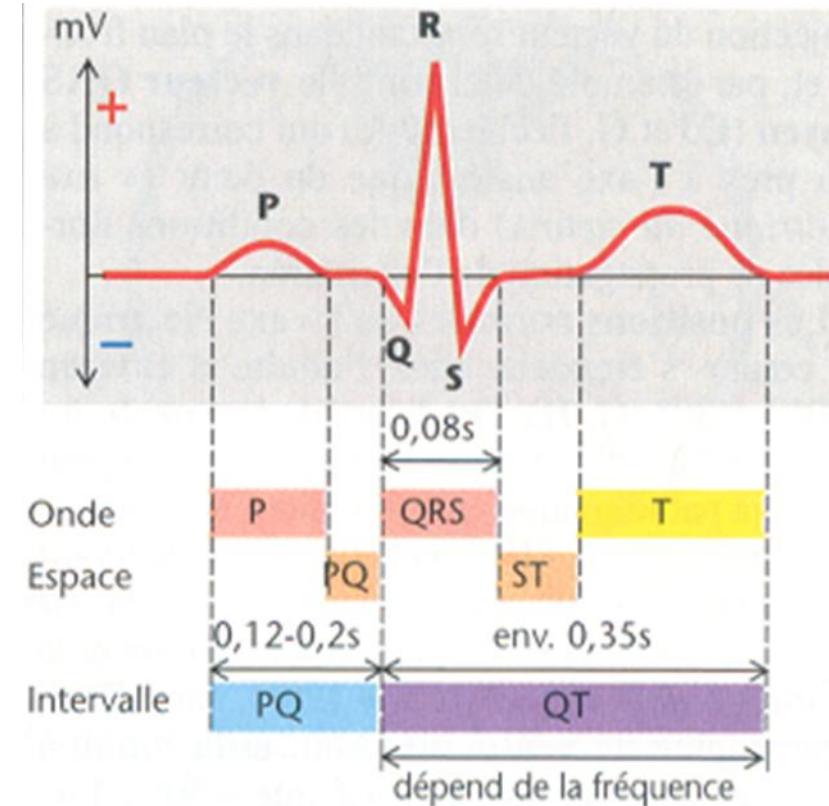
- ST: ligne iso-électrique
- Onde T :
 - déflexion(+)
 - Amplitude max : en D2 :3mm
 - Asymétrique



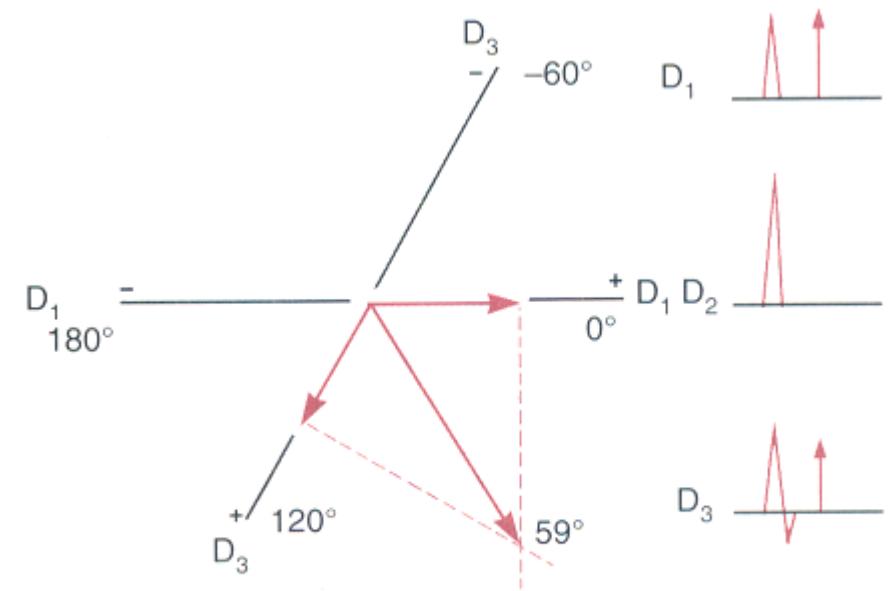
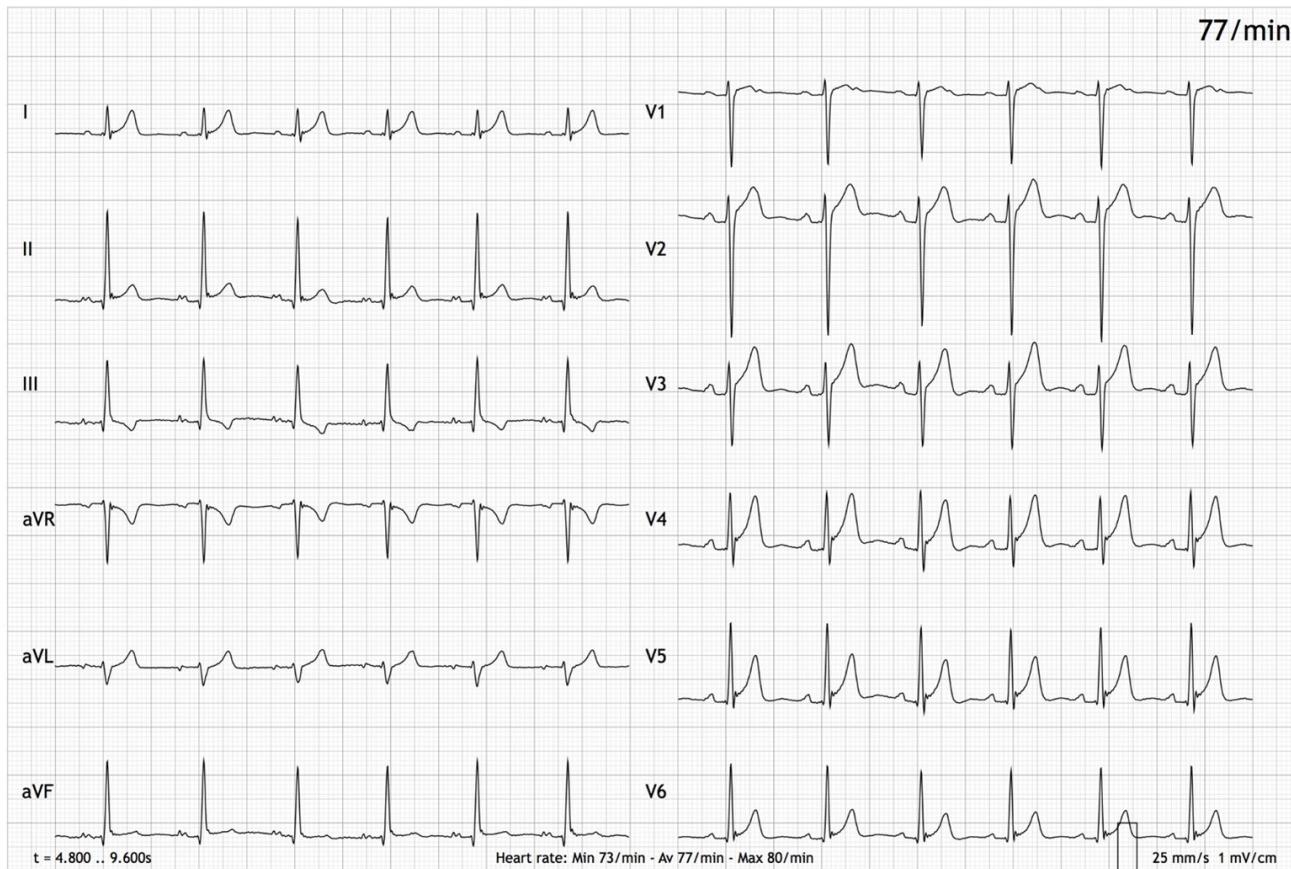
1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules

Espace QT

- Ensemble dépolarisation-repolarisation des ventricules
- Durée :
 - 0.36s
 - ↘ quand FC augmente



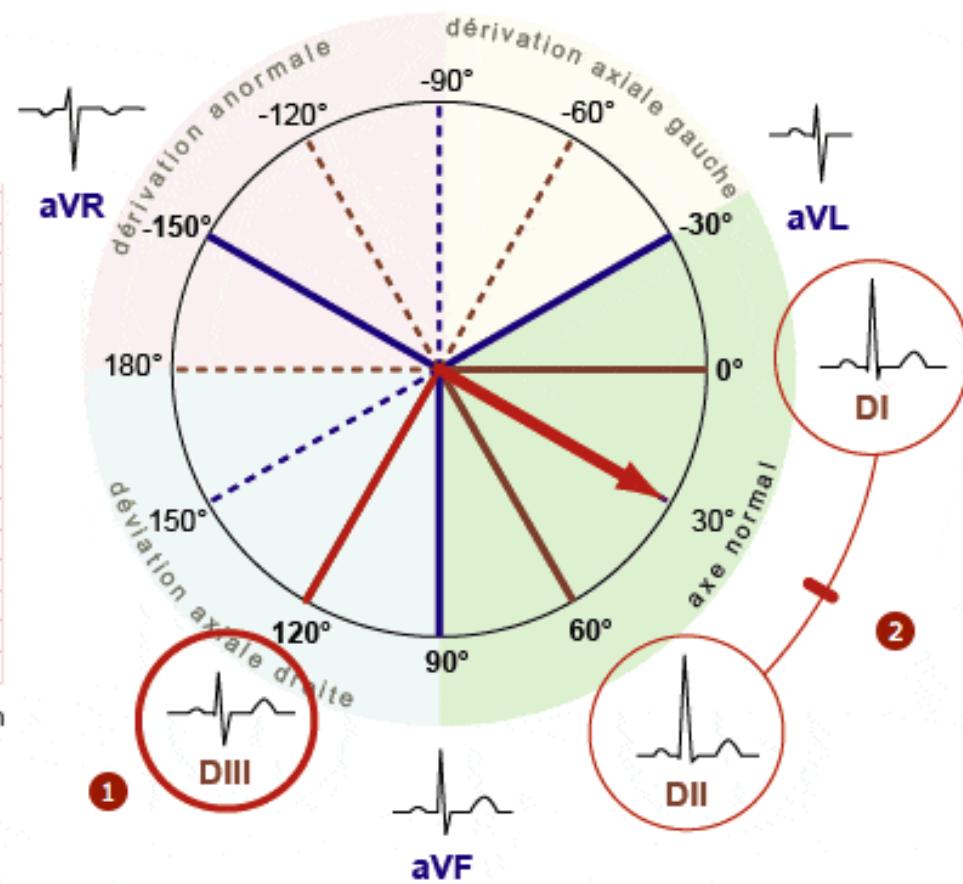
Axe électrique ventriculaire



Construction de l'axe électrique moyen du cœur à partir de deux dérivations électrocardiographiques.



© inhalotherapie.com



Axe du cœur

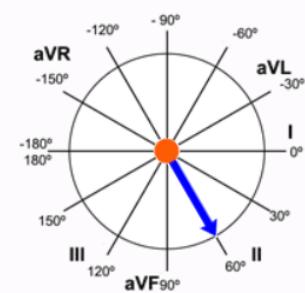
Amplitude du QRS dans D1

4 mm

Amplitude du QRS dans D3

4 mm

Calculer



L'axe du cœur est normal (60°).

Axe du cœur

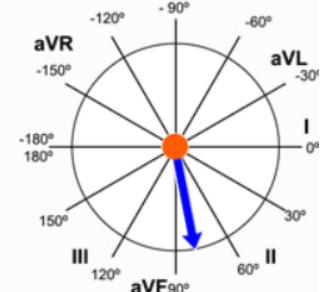
Amplitude du QRS dans D1

1 mm

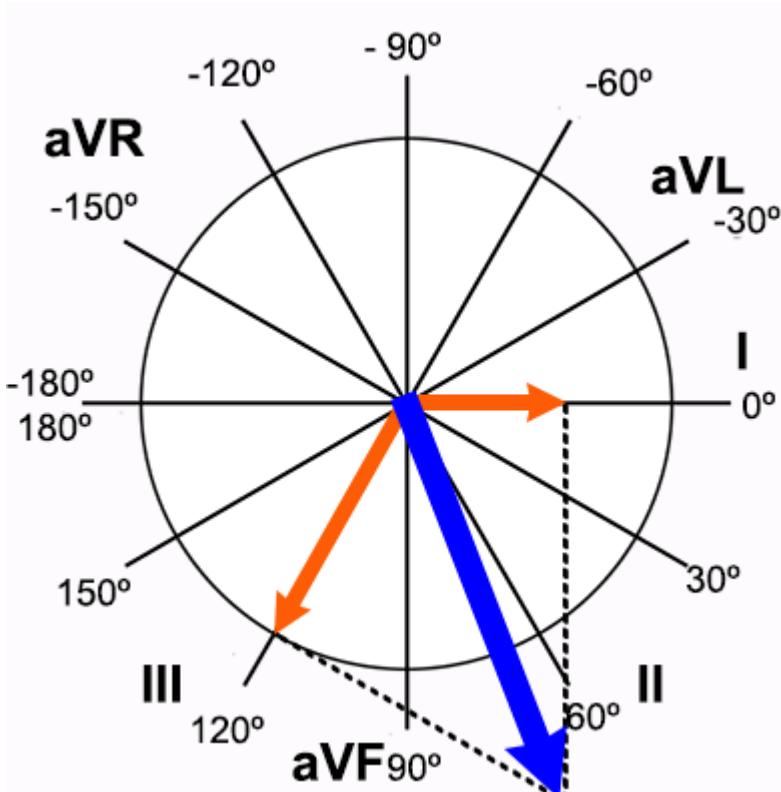
Amplitude du QRS dans D3

4 mm

Calculer



L'axe du cœur est normal (79°).



Axe du cœur

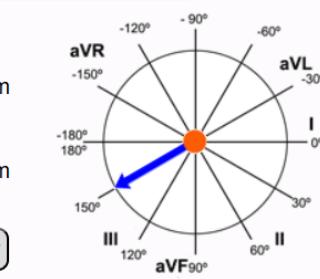
Amplitude du QRS dans D1

-1 mm

Amplitude du QRS dans D3

1 mm

Calculer



L'axe du cœur est dévié à droite (150°).

Axe du cœur

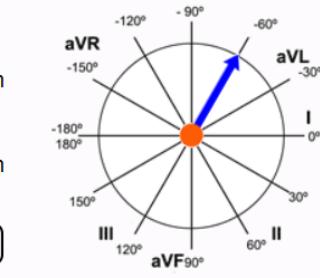
Amplitude du QRS dans D1

1 mm

Amplitude du QRS dans D3

-2 mm

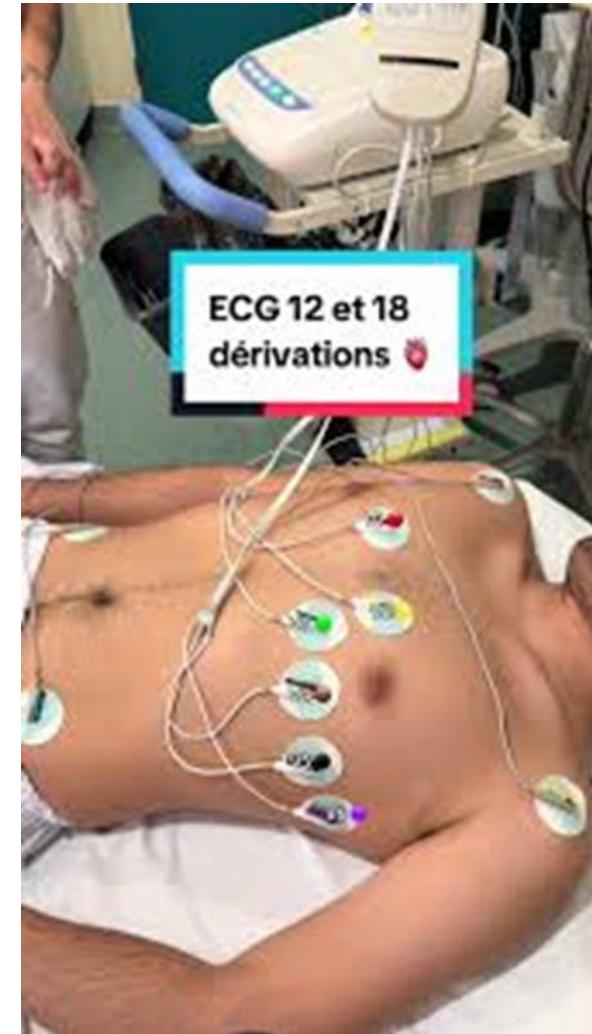
Calculer



L'axe du cœur est dévié à gauche (-60°).

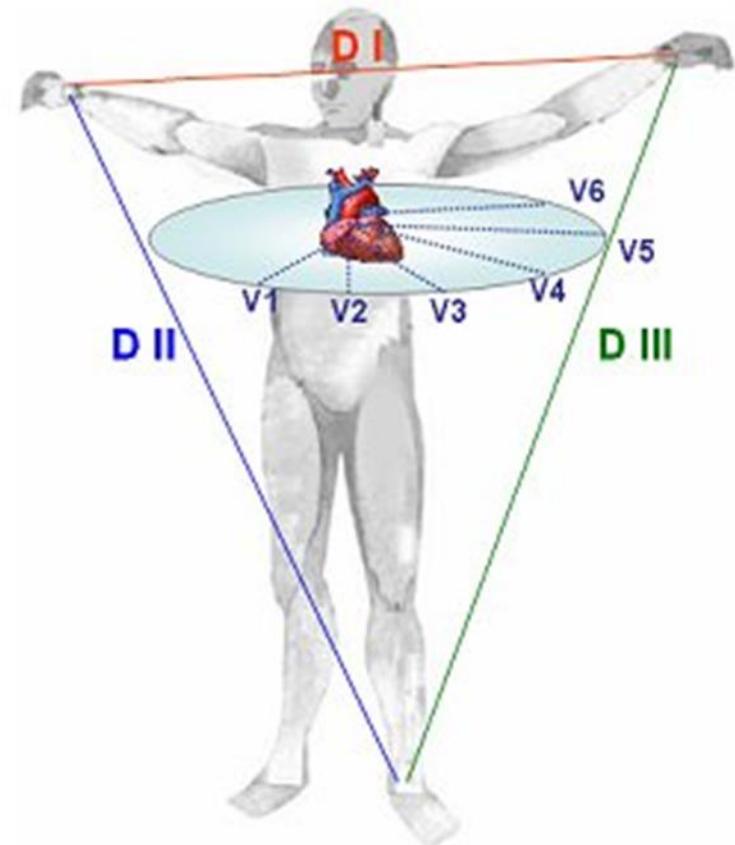
LES DÉRIVATIONS PRÉCORDIALES

- Intérêt
- Position des électrodes
- Tracé ECG sur les dérivations précordiales



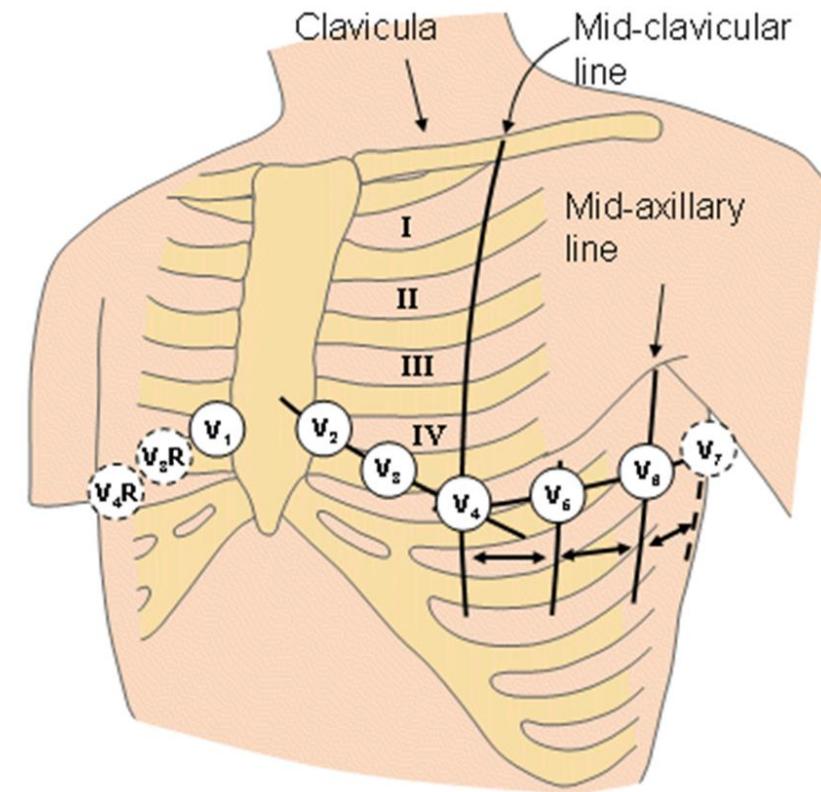
intérêt

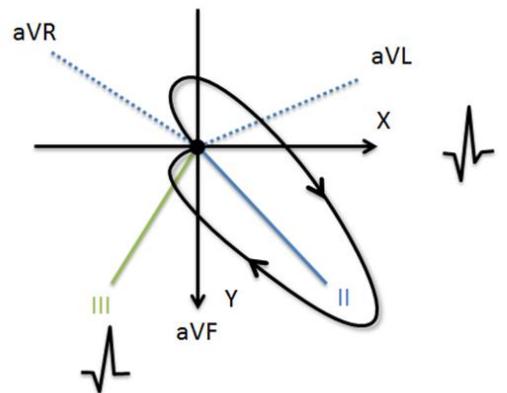
- Exploration du cœur sur le plan horizontal



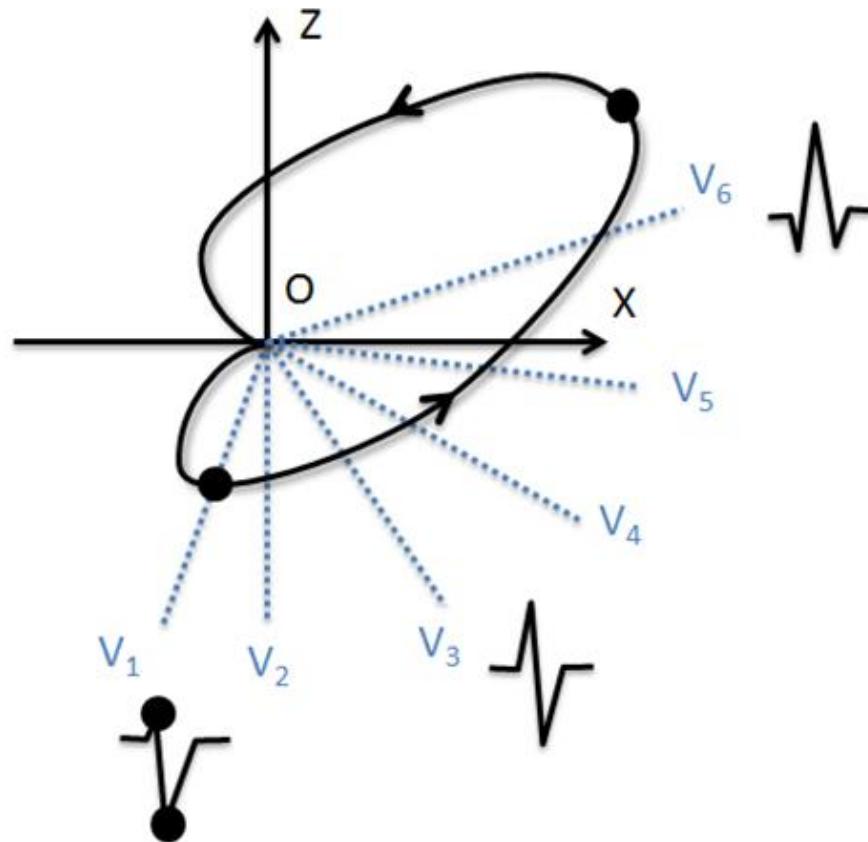
Position des électrodes

- V1 : 4^{ème} EIC bord sternal dt
- V2 : 4^{ème} EIC bord sternal gche
- V3 : entre V2 et V4
- V4 : 5^{ème} EIC gche-ligne médio-claviculaire
- V5 : 5^{ème} EIC gche-ligne axillaire antérieure
- V6 : 5^{ème} EIC gche-ligne axillaire moyenne

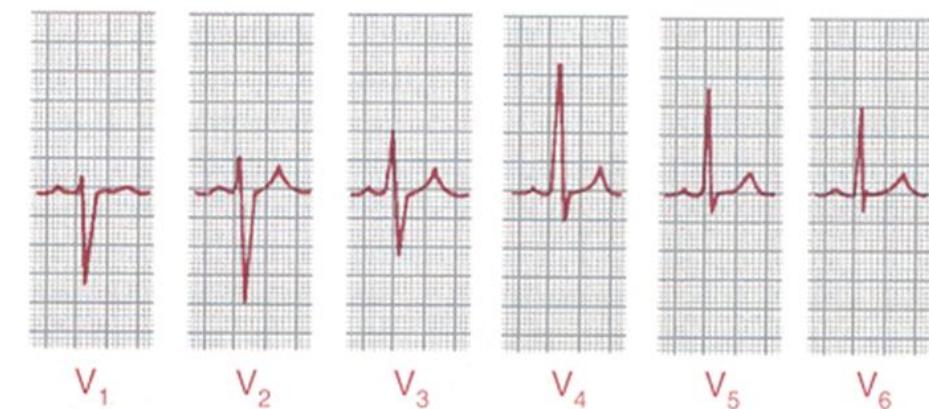




Plan Frontal

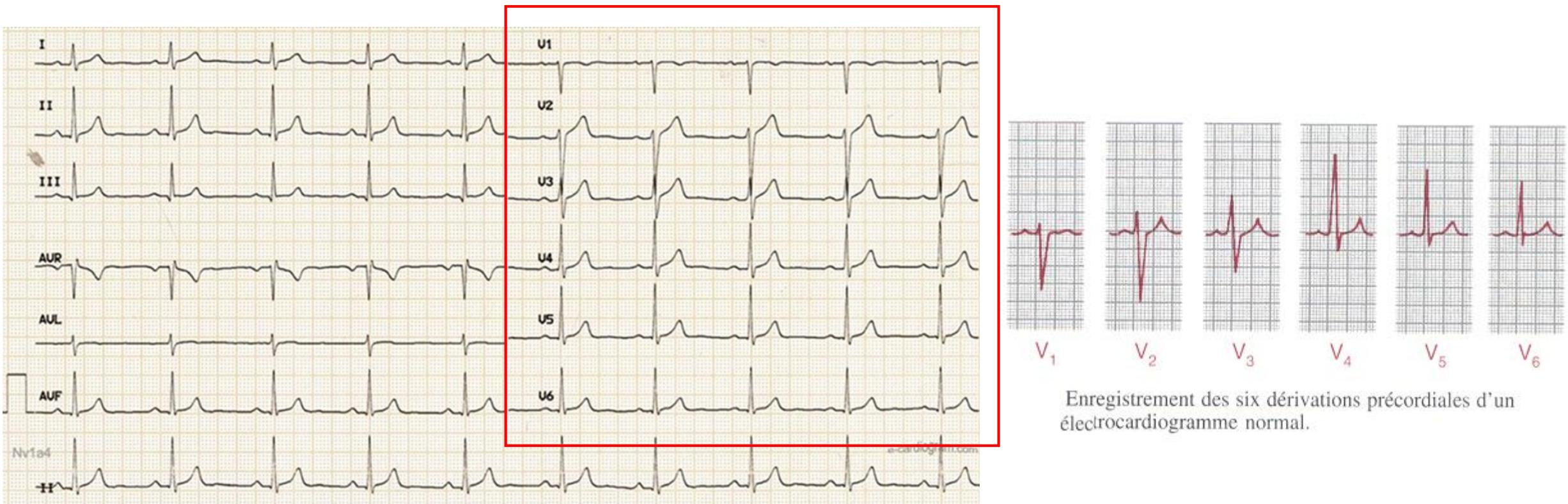


Plan Horizontal



Enregistrement des six dérivations précordiales d'un électrocardiogramme normal.

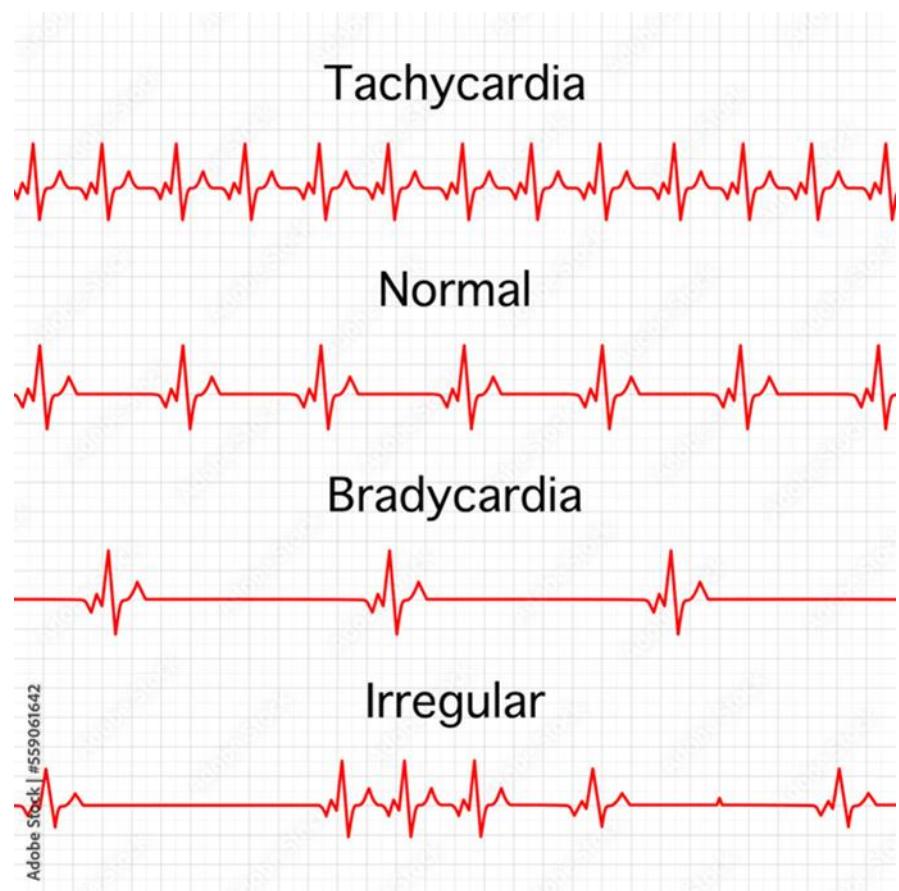
Le tracé ECG dans les dérivations précordiales

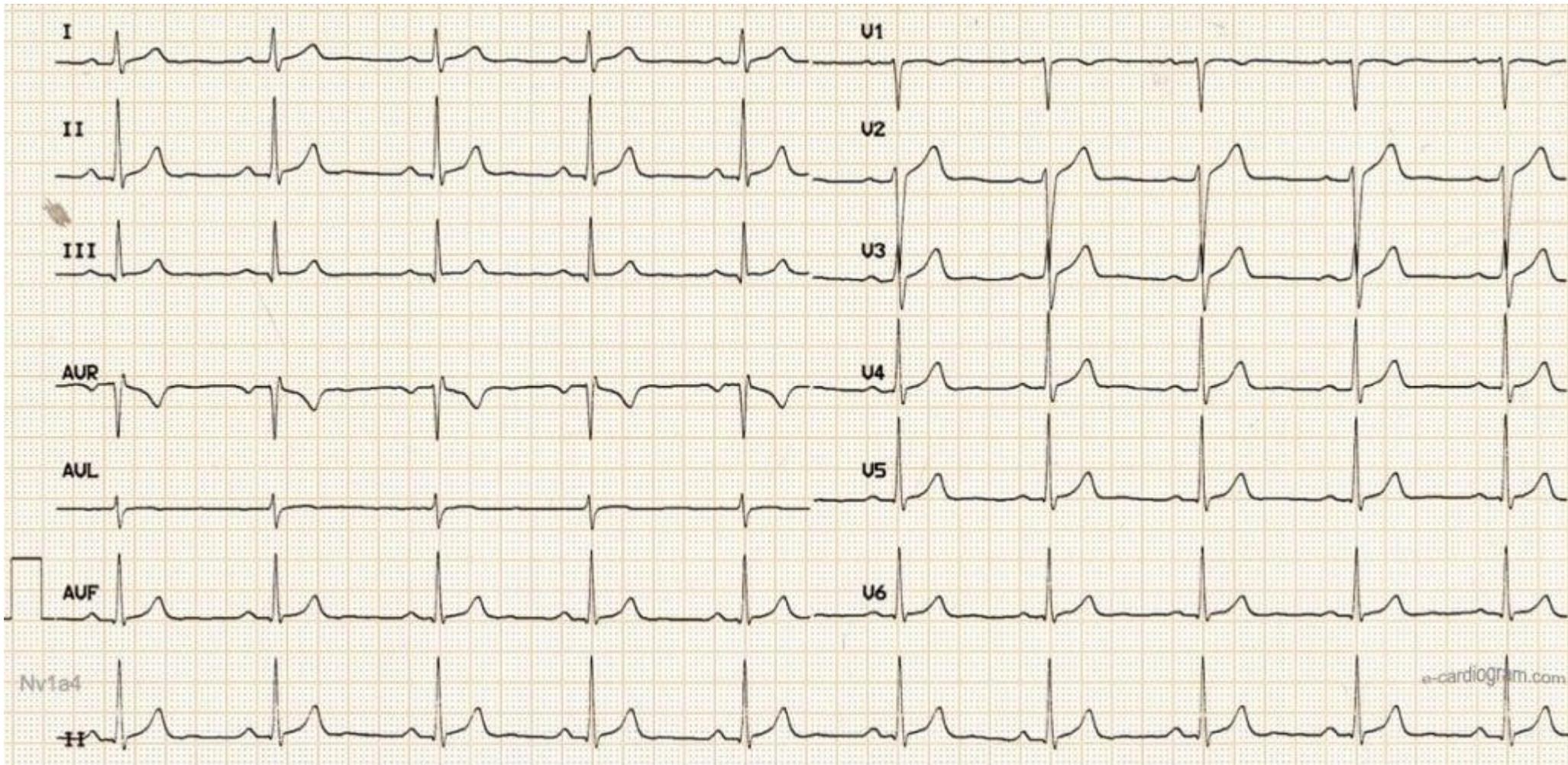


Enregistrement des six dérivations précordiales d'un électrocardiogramme normal.

Interprétation d'un ECG

- Fréquence cardiaque
- Rythme cardiaque
- Déflexions
- Axe du cœur





ECG normal pour un patient masculin de 35 ans

ECG : lecture et analyse

(12 critères pour un ECG strictement normal chez l'adulte)

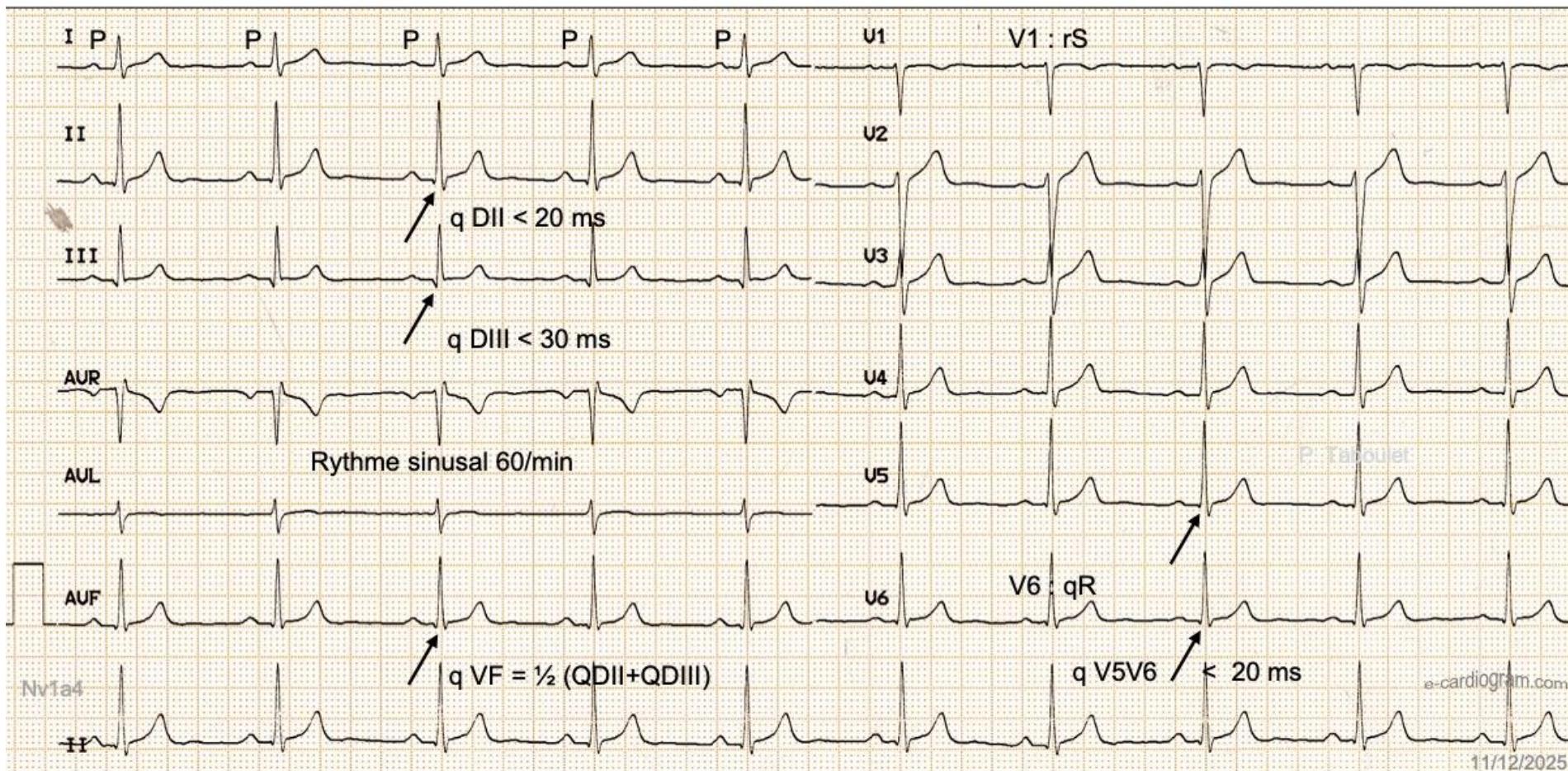
<https://www.e-cardiogram.com>

1. L'**onde P sinusale** est positive en DI-DII (maximum en DII, < 120 ms, \leq 2,5 mm)
2. Une **onde P sinusale** unique précède chaque QRS (\leq 2,5 mm et < 120 ms)
3. Les **ondes P sinusales** ont une fréquence normale (60-100/min)
4. L'**intervalle P-R** (ou P-Q) a une durée constante (120-200 ms)
5. Les **complexes QRS** sont positifs en DI-DII (Δ QRS : -30 à 90°)
6. Les **complexes QRS** sont tous fins (durée \leq 110 ms), peu amples (ex. R en DI $<$ 15 mm, VL $<$ 11 mm, V1 $<$ 6 mm, V5-V6 $<$ 25 mm) et non fragmentés
7. Les **complexes QRS** ont un aspect rS en **V1** et qR en **V6**, R progresse harmonieusement de V1 à V4(V5) et S progresse de V1 à V2(V3)
8. Les **ondes q** sont présentes et fines (< 20 ms) en (V4)V5-V6, dans certaines dérivations des membres (ex. DI, VL) ou en DIII ($<$ 30 ms)
9. Le **segment ST** est **isoélectrique** au segment PQ (ST+ selon âge, sexe et dérivations)
10. L'**onde T** est **positive et asymétrique** (sauf en VR et V1 et parfois en DIII ou VL si le QRS est négatif et en V2-V3 avant 14 ans) ECG de A à z
11. L'**onde T** a une **amplitude proportionnelle aux QRS** ($<$ 2/3 du QRS et $>$ 10% de R)
12. L'intervalle **QT corrigé** est normal (H. $<$ 450 ms ; F. $<$ 460 ms) P. Taboulet (mai 2025)

ECG normal

(homme 35 ans)

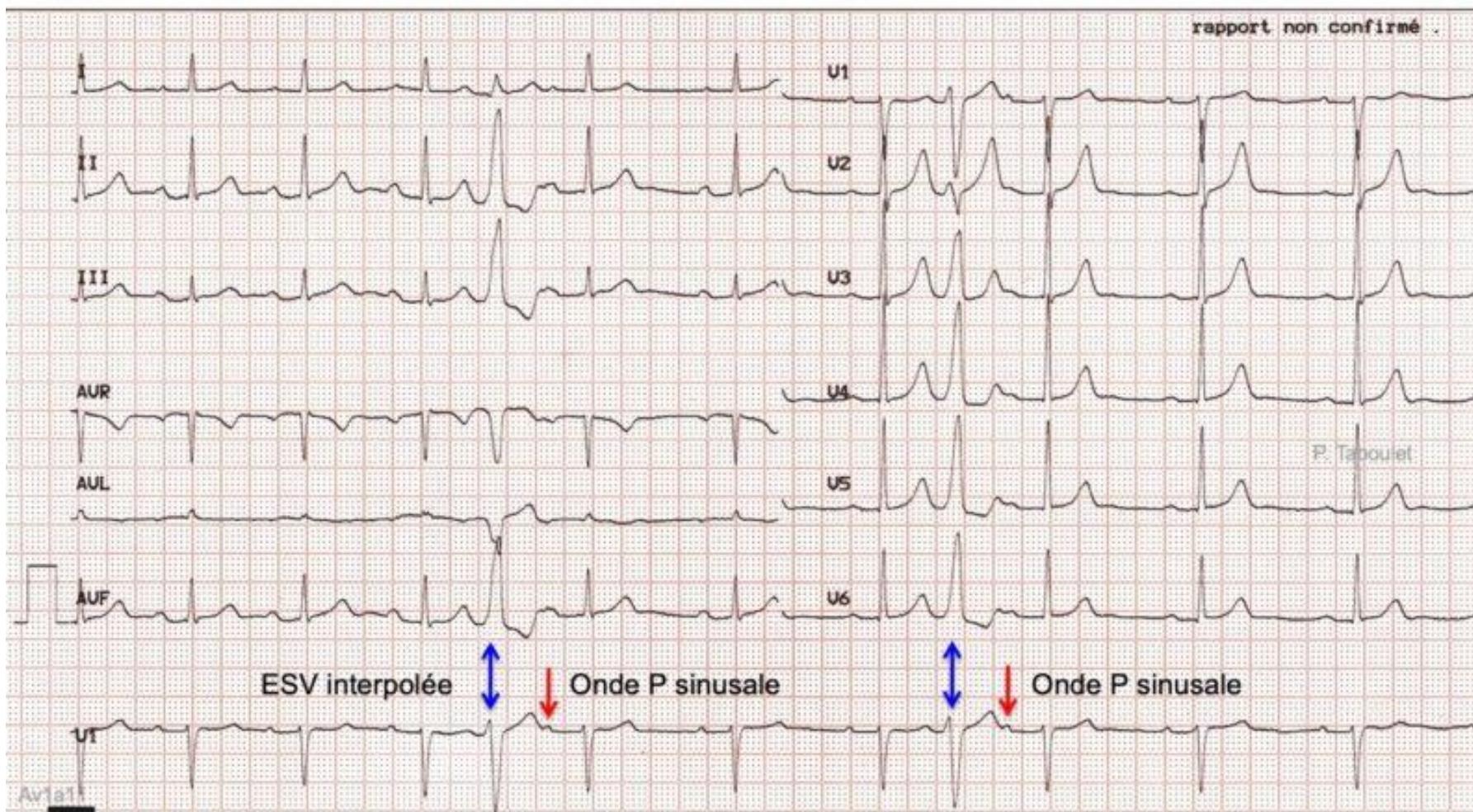
1. Onde P positive en DI-DII (max. en DII) et de type sinusal (dôme)
2. Fréquence sinusal comprise entre 60-100/min
3. Une seule onde P sinusal précède chaque QRS ($\leq 2,5$ mm et < 120 ms)
4. L'intervalle P-R (ou P-Q) est isoélectrique, durée constante (120 à 200 ms)
5. Le QRS est positif en DI-DII (**ΔQRS : 0 à 90°**)
6. Les QRS sont fins (**QRS ≤ 110 ms**)
7. Il n'y a pas d'onde Q ≥ 30 ms (mais il existe une onde q ≤ 20 ms en V5-V6 ± frontales)
8. L'aspect en V1 est rS et en V6 qR ; l'onde R croît de V1 à V4 (< 25 mm)
9. Le segment ST est isoélectrique au segment PQ (ST+ possible : voir variantes)
10. L'onde T est positive et asymétrique (sauf en VR et V1)
11. L'onde T a une amplitude proportionnelle au QRS (T $<$ R sauf parfois en V2-V3)
12. L'intervalle QT corrigé est normal ($< 0,45$ s chez l'homme et $< 0,46$ s chez la femme)



Arythmie ventriculaire

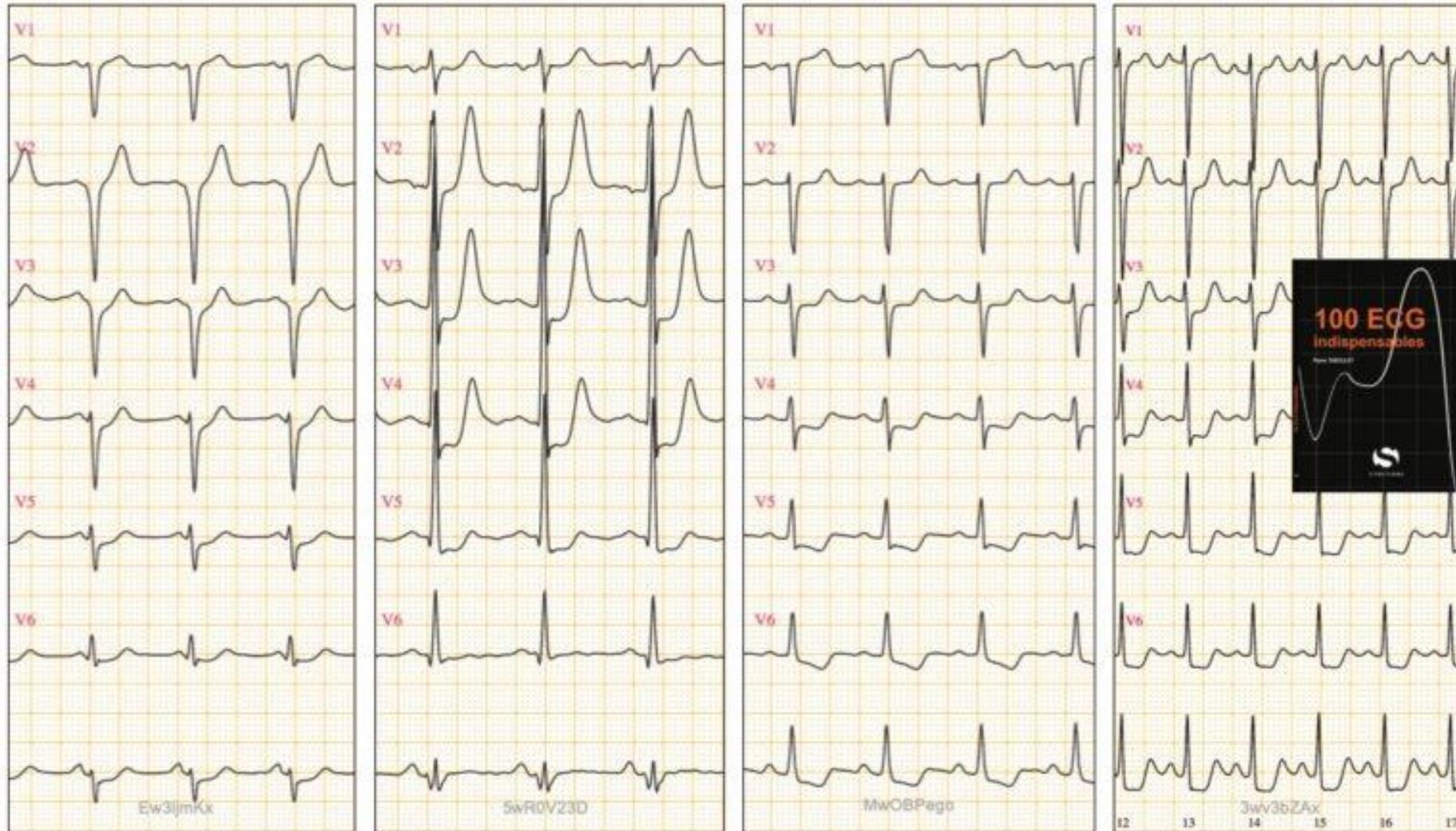
(ESV interpolée, non décalante)

↑ ESV non décalante, suivie par un allongement du PR (conduction masquée)



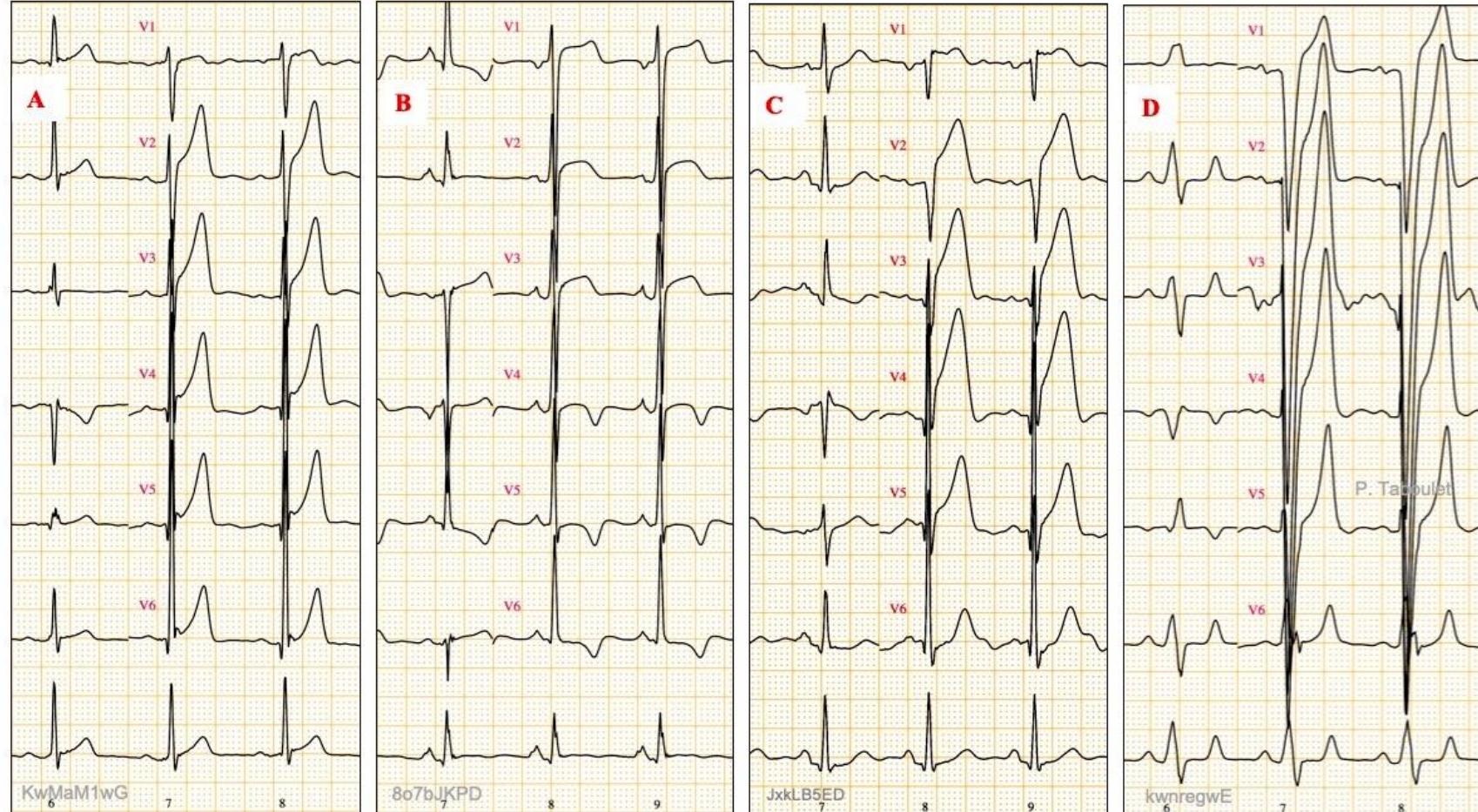
Sous-décalage de ST

Étiologies ischémiques

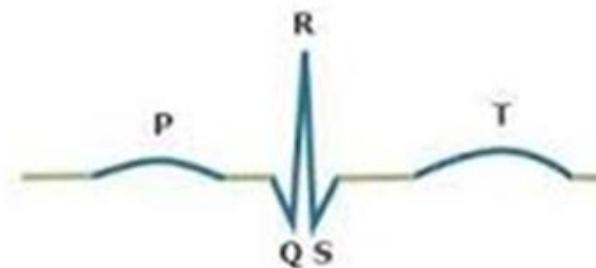


Sus-décalage de ST

A. Repolarisation précoce; **B.** HVG; **C.** Infarctus ST+; **D.** BBG + HVG + K+



Merci



Onde P

Complexe QRS

Onde T

